

**Intuitive Physik im Labor und auf dem Fussballfeld:
Zur Entstehung und Überwindung von Misskonzepten
über Bewegungsbahnen**

Abhandlung zur Erlangung der Doktorwürde

der

PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

der

UNIVERSITÄT ZÜRICH

vorgelegt von

Jan Rauch

von Bergün / GR

Angenommen im Frühjahrssemester 2011

auf Antrag von

Herrn Prof. Dr. Friedrich Wilkening und

Herrn Prof. Dr. Mike Martin

Zürich, 2014

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersuchte die intuitive Physik der Impulsintegration anhand naiver Vorstellungen über Bewegungsbahnen nach richtungsändernden Stössen auf sich bewegende Objekte. In diesen wird fälschlicherweise nur der letzte einer Serie von Stössen als richtungsweisend angesehen. Solche naiven Vorstellungen gelten als robust und schwer revidierbar.

In zwei parallelen Versuchsreihen wurde dieses Misskonzept eingehender untersucht. Naive Personen lenkten in Laborversuchen über einen Tisch rollende Golfbälle auf Ziele in unterschiedlichen Winkeln ab. Die Hälfte der Stösse erfolgte dabei unter Zeitdruck. Davor erhielten die Versuchsteilnehmer entweder eine *explizite* oder eine *implizite Instruktion*. Auf dem Fussballfeld lenkten zudem Fussballspieler unterschiedlicher Expertise Flankenbälle mit dem Kopf auf verschiedene Ziele ab, wobei ein Teil der Spieler vorher instruiert wurde.

Alle Teilnehmenden unterlagen einem starken Misskonzept, welches sich in einem zu grossen Ablenkungswinkel und dem Verfehlen des anvisierten Ziels auf der entfernten Seite bemerkbar machte. Dabei konnte erstmals gezeigt werden, dass das Misskonzept nicht unabhängig vom Winkel auftritt, in welchem das bewegte Objekt abgelenkt werden muss. Ablenkungen auf Ziele im rechten Winkel waren deutlich präziser und erlaubten einen grösseren Lernfortschritt als Ablenkungen in spitzen oder stumpfen Winkeln. Ausserdem zeigte sich eine Sensibilität gegenüber Zeitdruck, Instruktionsart sowie Expertise der teilnehmenden Person: Nur Teilnehmer mit Erfahrung im Ballsport profitierten vom einfachen Beobachten des erfolgreichen Ablenkens (implizite Instruktion). Auf dem Fussballfeld konnten Spieler mit hoher Expertise das naive Konzept dank Instruktion gar vollständig eliminieren. Für die Überwindung des Misskonzepts ist somit auch situationsspezifische Erfahrung entscheidend. Dies relativiert die Annahme kaum revidierbarer intuitiver (Miss-)Konzepte. Ausserdem deuten die Ergebnisse nicht auf den Gebrauch einer einheitlichen Bewegungstheorie hin. Abhängig von Bedingung und Instruktion existierten bei den Teilnehmenden mehrere Bewegungsmodelle nebeneinander.

Abstract

The present work explored the intuitive physics of impulse integration in people's beliefs about trajectories after redirecting moving objects. In a series of redirections, humans have the tendency to assume that only the last hit has an impact on the direction of the object. Such naïve beliefs have been found to be very robust and extremely difficult to revise.

In two parallel experimental series, the misconception of interest here was explored in more detail. In a laboratory experiment, golf balls were rolled over a table, and naïve participants had to redirect these balls with a racquet in order to hit one of three differently located targets in different angles after receiving an *explicit* or an *implicit* instruction. Half of the redirections had to be made under time pressure. In a field experiment analogue to the laboratory experiment, following initial instructions, amateur and professional football players had to redirect cross balls with the head towards three differently located targets.

Results showed that the participants were subject of strong misconceptions. The balls were redirected in angles being too big and hence missed the target on the far side. For the first time it could be shown that this misconception is depending on the size of the angle in which the moving objects have to be redirected. Redirections towards targets in right angles always were more precise and elicited a better learning curve for following redirections. Results further highlighted that the accuracy of the redirections were sensitive to time pressure, type of instruction, and the participants' expertise in ball sports: Only participants with a certain amount of experience in ball sports could profit merely from observing a successful redirection (implicit instruction). On the football field, instructed high-level football players even could eliminate the naïve concept. Thus, for overcoming the naïve concept, also situation-specific experience seems to be essential. As a conclusion, the assumption that intuitive (mis-)conceptions are hardly to revise requires a critical discussion. In addition, results do not indicate that humans in the kind of situations investigated here employ a consistent theory of motion. Participants seemed to use several models of motion simultaneously, depending on condition and instruction.

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	6
2.1	Theoretischer Hintergrund	6
2.1.1	Intuitive Physik	6
2.1.2	Trajektorien bewegter Objekte	9
2.1.3	Intuitive Physik der Impulsintegration	13
2.1.4	Internalisation und Externalisation	21
2.1.5	Embodied Knowledge und Embodied Cognition	23
2.1.6	Der Einfluss spezifischer Erfahrung	24
2.1.7	Exkurs: Choking under pressure	26
2.1.8	Der Einfluss von Instruktionen	27
2.1.9	Implizites und explizites (motorisches) Lernen	29
2.1.10	Die Wahrnehmung von Winkeln	30
2.1.11	Fragestellungen	31
3	Methodik	33
3.1	Definitionen	33
3.2	Laborexperimente	34
3.2.1	Verwendete Instrumente und Verfahren	34
3.2.2	Experiment 1	36
3.2.2.1	Versuchsablauf	36
3.2.2.2	Teilnehmer Experiment 1	37
3.2.2.3	Resultate Experiment 1	37
3.2.2.4	Diskussion Experiment 1	41
3.2.3	Experiment 2	43
3.2.3.1	Zeitdruck	43
3.2.3.2	Instruktion	44
3.2.3.3	Versuchsablauf	45
3.2.3.4	Teilnehmer Experiment 2	47
3.2.3.5	Resultate Experiment 2	47
3.2.3.6	Diskussion Experiment 2	58
3.2.3.7	Fazit Laborversuche	61

3.3	Experimente auf dem Fussballfeld.....	62
3.4	Experiment 3: Kopfbälle ohne Instruktion	64
3.4.1	Verwendete Instrumente und Verfahren.....	64
3.4.2	Versuchsablauf	65
3.4.2.1	Teilnehmer Experiment 3	66
3.4.2.2	Resultate Experiment 3	66
3.5	Experiment 4: Kopfbälle mit Instruktion	70
3.5.1	Instruktion.....	70
3.5.2	Versuchsablauf	71
3.5.3	Stichprobe 1: Fussballer 4. Liga	72
3.5.3.1	Resultate Fussballer 4. Liga.....	72
3.5.3.2	Diskussion Stichprobe 1 (Fussballer 4. Liga)	74
3.5.4	Stichprobe 2: Fussballer 3. Liga	74
3.5.4.1	Resultate Fussballer 3. Liga.....	74
3.5.4.2	Diskussion Stichprobe 2 (Fussballer 3. Liga)	75
3.5.5	Stichprobe 3: Fussballer 2.Liga	76
3.5.5.1	Resultate Fussballer 2. Liga.....	77
3.5.5.2	Diskussion Stichprobe 3 (Fussballer 2. Liga)	78
3.5.6	Diskussion Experiment 4.....	79
4	Allgemeine Diskussion.....	81
5	Optimierungen und Ausblick	90
6	Literaturverzeichnis.....	93
	Danksagung	106
	Curriculum Vitae	107

2 Einleitung

Physikalische Vorgänge üben auf unser aller Leben einen entscheidenden Einfluss aus. Die Wahrnehmung physikalischer Reize (beispielsweise visueller, akustischer oder taktiler Natur) sowie deren angemessene Analyse ermöglichen die Orientierung im Raum und somit das Überleben. Die Fähigkeit, physikalische Prozesse zu verstehen und angemessen einzuschätzen, stellt einen wichtigen Teil der menschlichen Kognition dar. So sichern die Antizipation der Bewegungen von Fressfeinden oder die Manipulation von Werkzeugen und deren korrekte physikalische Anwendung das eigene Überleben. Das Verständnis physikalischer Vorgänge nimmt somit evolutionsgeschichtlich einen wichtigen Stellenwert ein.

2.1 Theoretischer Hintergrund

Bis Ende der siebziger Jahre des 20. Jahrhunderts wurde die Theoriebildung in der Entwicklungs- und Lernpsychologie von *bereichsübergreifenden* Theorien (z.B. die Lehren Piagets sowie behavioristischen Lerntheorien) dominiert. Mittlerweile wird die Forschung jedoch von Überlegungen zu *bereichsspezifischer* Theoriebildung beherrscht. Demnach zerfällt das menschliche Denken in verschiedene Domänen, in welchen sich nach eigener Logik Wissenseinheiten entwickeln bzw. in den Grundsätzen bereits angelegt sind. Diese nativistische Sichtweise sieht in ihren Theorien angeborene kognitive Strukturen (*constraints*) vor, die jeweils nur für eine Domäne des Wissens, also zum Beispiel für räumliches Denken oder soziale Kognition gelten.

2.1.1 Intuitive Physik

Viele Konzepte der Naturwissenschaften sind kontraintuitiv, entsprechen also nicht der unmittelbaren Interpretation der Wahrnehmung. So ist beispielsweise ohne weitergehendes Wissen nicht direkt erkennbar, weshalb ein Stück Metall, in tiefes Wasser geworfen, sofort untergeht, ein ebenso grosses Stück Styropor jedoch nicht. Selbst nach der Erfindung des Fernrohres und somit der Möglichkeit der genaueren Gestirnsbeobachtung und der Krümmung der Erde hat es noch Jahrzehnte gedauert,

bis das heliozentrische das geozentrische Weltbild in der Wahrnehmung des Menschen ablösen konnte.

Die intuitive Physik ist die Gesamtheit unseres Alltagswissens über die substantielle Welt, und jeder Mensch ist von frühester Kindheit an im Besitz solch intuitiven Wissens über physikalische Phänomene. Dieses intuitive Wissen entwickelt sich aus Alltagserfahrungen und ist oft eine komplexe Verknüpfung aus Sensumotorik, Wahrnehmung und Kognition. Dieses Wissen liegt einerseits in verbalisierbarer und andererseits in nicht-verbalisierbarer Form vor. Der verbalisierbare Anteil entwickelt sich im Laufe des Vorschulalters und bildet die Basis naiver physikalischer Konzepte und Theorien. Diese sind zum Teil bemerkenswert resistent gegenüber schulischer Belehrung und bestehen häufig bis ins Erwachsenenalter. Der nicht verbalisierbare Anteil der intuitiven Physik beruht auf impliziten, sogenannten *perzeptiv-motorischen* Komponenten und wird aus wahrnehmungs- und handlungsbezogenen Wissensstrukturen gebildet, deren Ursprünge im frühen Säuglingsalter zu finden sind (Krist, Loskill, & Schwarz, 1996). Die intuitive Physik hat demnach zwei Seiten: Einerseits bilden sich schon bei Säuglingen intuitive Konzepte, die den normativen physikalischen Gesetzen sehr nahe kommen (Baillargeon, 1993). Spelke (1991) geht sogar davon aus, dass einige der Konzepte angeboren sind. Andererseits bleiben naive Konzepte in anderen Kontexten weit von den normativen Gesetzen entfernt, wodurch selbst bei physikalisch gebildeten Erwachsenen eklatante Fehleinschätzungen ausgelöst werden können. McCloskey, Caramazza und Green (1980) fanden in ihren Studien beispielsweise heraus, dass ein Drittel bis die Hälfte der Erwachsenen voraussagt, dass ein Ball, der eine gekrümmte Röhre verlässt, sich nach seinem Austritt aus der Röhre auf einer gekrümmten Bahn weiterbewegt. Physikalisch korrekt wäre die Vorhersage einer geradlinigen Bahn. Offensichtlich entspricht unser intuitives Wissen nicht immer der physikalischen Norm. Misskonzepte, die vom Schulwissen nie vollständig eliminiert werden, bleiben oft selbst bei Experten bestehen. Die intuitive Physik bestimmt mehr als die Lehrbuch-Physik das tägliche Handeln (Wilkening & Lamsfuss, 1993).

Die Wahrnehmung von Objekten und Vorgängen bildet die Basis der intuitiven Physik (Anderson & Wilkening, 1991). Diese Wahrnehmungen bilden eine Basis für interne Repräsentationen oder mentale Modelle, welche sich

entwickeln und zur Anpassung an die Umwelt benötigt werden. In einer prototypischen Form kann eine solche mentale Repräsentation als generalisierte Wahrnehmung gesehen werden, welche Struktur und Vorgänge eines physikalischen Systems nachahmt. Mentale Repräsentationen gehen aber über die Wahrnehmung hinaus, indem sie auch Kognition und Handlung mit einbeziehen.

Von physikalischen Phänomenen sind wir tagtäglich umgeben; Menschen in allen Regionen der Welt können sie von den ersten Lebensmonaten an in praktisch gleicher Weise erfahren. Die Natur liefert im Prinzip in jeder Situation eine korrekte Rückmeldung, was einen systematischen Wissensaufbau ermöglichen sollte. Unsere intuitive Physik ist jedoch auch geprägt von kognitiven Täuschungen. Warum aber weichen unsere intuitiven Vorstellungen – selbst zu scheinbar einfachsten Bereichen der Mechanik – noch nach Jahrzehnten individueller Lebenserfahrung manchmal so deutlich von den normativen Gesetzen ab, obwohl wir über die kognitiven Fähigkeiten verfügen würden, den physikalischen Gesetzen gemäss zu urteilen und zu handeln?

Spelke (1994) kam aufgrund ihrer Untersuchungen zum Schluss, dass Menschen bereits mit einem gewissen Basiswissen und der Kenntnis grundlegender Theorien über physikalische Phänomene, insbesondere über Bewegungen fester Körper, zur Welt kommen. Dieses Wissen ist jedoch nicht in jedem Bereich gleich stark ausgeprägt, Spelke spricht in diesem Zusammenhang von *Kernkonzepten*. Zu diesen Kernkonzepten gehören Kohäsion, Kontinuität und Kontakt. Die Kohäsion beschreibt Objekte als ganze Einheiten mit definierbarer Aussengrenze: Oberflächen gehören nur dann zusammen, wenn sie sich zusammen bewegen und sich keine Lücke zwischen ihnen befindet (Spelke, 1994). Die *Kontinuität* beschreibt die Tatsache, dass Objekte auch nach ihrem Verschwinden weiterexistieren, sich also auf einer kontinuierlichen räumlichen Bahn bewegen. Die Ergebnisse verschiedener Studien deuten darauf hin, dass dieses Konzept bereits im Alter von zweieinhalb Monaten vorhanden ist (Baillargeon, 1987; Spelke, Breinlinger, Macomber, & Jacobson, 1992; Wilcox, Nadel, & Rosser, 1996). Das Konzept des *Kontakts* beschreibt den Umstand, dass sich Objekte ausschliesslich dann gemeinsam bewegen, wenn sie in Kontakt zueinander stehen

(Spelke, Phillips, & Woodward, 1995).¹ Das Wissen über Schwerkraft und damit zusammenhängend der Trägheit entwickelt sich erst im Alter von etwa 7 bis 10 Monaten und zählt demnach nicht zu den Kernkonzepten (Kim & Spelke, 1999; Spelke, Katz, Purcell, Ehrlich, & Breinlinger, 1994).

Nach Spelke (1994) sind die angeborenen Kernkonzepte nicht mit Lernmechanismen gleichzusetzen, über welche man intuitives physikalisches Wissen auf der Basis von Beobachtungs- oder Handlungserfahrungen erlangen kann. Vielmehr entspricht ein solches Kernkonzept quasi dem zentralen Punkt einer Wissensdomäne, um welchen sich im Laufe der Zeit weiteres Wissen anreichert (*knowledge enrichment*). Wesentliche konzeptuelle Veränderungen in der individuellen Entwicklungsgeschichte sind nicht vorgesehen. Bei der späteren Entwicklung physikalischen Wissens handelt es sich also nicht um einen konzeptuellen Wandel, vielmehr stellt es einen einfachen Zuwachs an Wissen dar. Damit steht sie in krassem Widerspruch zu Piagets Theorie der kognitiven Entwicklung (1937), der davon ausging, dass der Erwerb physikalischen Wissens mit einem radikalen konzeptuellen Wandel und der Entwicklung geeigneter Denkstrukturen einhergehen muss. Nach Spelke (1991) jedoch entwickelt sich das Wissen über Objekte und deren Bewegungen auf der Grundlage des angeborenen Kernwissens weitgehend unabhängig von Handlungserfahrungen. Sie geht von der Annahme aus, dass in der Architektur des menschlichen Geistes Handlung, Denken und Wahrnehmung als autonome psychische Funktionen mit eigenen Entwicklungsdynamiken repräsentiert sind.

2.1.2 Trajektorien bewegter Objekte

Traditionellerweise wird die Physik in vier grosse Teile aufgegliedert (klassische Mechanik, Elektrodynamik, Thermodynamik und Quantenmechanik), wobei die klassische Mechanik den ältesten Teil davon einnimmt. Mechanische Bewegungen von Objekten sind in der Natur häufig zu beobachten und stellen deshalb ein

¹ Eng verwandt mit dem Kontinuitätsprinzip, aber auch mit der Kohäsion, ist das Prinzip der Solidität (Objekte können sich nicht durch feste Körper hindurchbewegen). Je nach Autorenschaft gehört auch dieses Prinzip zu den Kernkonzepten, oftmals anstelle der Kohäsion (Hespos & Baillargeon, 2001; Spelke et al., 1992).

Forschungsfeld von hohem Interesse dar. Die Antizipation der Bewegung von Objekten stellt eine wichtige Fähigkeit unserer Kognition dar. Sie ermöglicht uns das Zurechtfinden in einem bewegten Umfeld oder erlaubt uns die Manipulation von Wurfgegenständen. Welche Trajektorie beschreibt jedoch ein Objekt, nachdem es in Bewegung gesetzt worden ist? Die physikalischen Prinzipien, gemäss denen Kräfte auf Objekte in Raum und Zeit einwirken, sind seit Newton allgemein bekannt. Des Weiteren können Menschen das Wirken physikalischer Grössen, etwa der Gravitationskraft, nicht nur bereits ab Geburt an ihrem eigenen Körper erfahren, sie können deren allgegenwärtigen Einfluss auch in der physikalischen Umwelt beobachten. Dennoch weicht die Vorstellung über das Verhalten bewegter Objekte selbst bei Erwachsenen oft erheblich von den Newtonschen Prinzipien ab, wie in verschiedenen Versuchen nachgewiesen werden konnte (McCloskey, 1983; McCloskey et al., 1980). Erst spätere Untersuchungen setzten sich aus entwicklungspsychologischer Sicht mit Misskonzepten in dieser Domäne auseinander (Hood, 1995, 1998; Kim & Spelke, 1992, 1999).

Eines der meist untersuchten Misskonzepte wird als *straight-down belief* bezeichnet und beschreibt die globale Annahme, dass alle Gegenstände, welche nicht auf anderen Objekten aufliegen, senkrecht zu Boden fallen. Muss beispielsweise die Flugbahn eines Balles, der von einer Person im Lauf fallen gelassen wird oder aus einem Flugzeug fällt, prognostiziert werden, so antworten nicht nur Kinder, sondern auch viele Erwachsene gemässe dem *straight-down belief*. Entwicklungspsychologische Untersuchungen kommen zum Schluss, dass diese Annahme von Kindern bereits in einer sehr frühen Entwicklungsphase erworben wird (z.B. Hood, 1998; Spelke et al., 1992). Mit der Messung von Blickdauern wurde beispielsweise belegt, dass bereits 4 Monate alte Babys wissen, dass ein Objekt senkrecht zu Boden fällt, wenn sein Fall nicht durch ein anderes solides Objekt gebremst oder umgelenkt wird (Spelke et al., 1992). Diese naive Theorie erweist sich offenbar in vielen alltäglichen Situationen als so funktional, dass sich daraus allmählich ein robustes Konzept entwickelt, und dies auch in Situationen, in welchen die physikalischen Randbedingungen verändert sind (z.B. bewegtes anstatt ruhendes Objekt). Wie weiter oben beschrieben wurde, bleiben solche naiven Konzepte zum Teil bis ins Erwachsenenalter bestehen, ungeachtet des

dazugelernten gegenteiligen formalen Wissens (Kozhevnikov & Hegarty, 2001; McCloskey et al., 1980).

McCloskey (1983) bietet eine bestechende Interpretation für den naiven Glauben des *straight-down beliefs*: Er stimmt faktisch mit den Prämissen der so genannten Impetustheorie überein, einer mittelalterlichen Bewegungslehre, welche aus einer Kritik der Aristotelischen Kinematik hervorging. Wie die Aristotelische Physik postuliert die Impetustheorie, dass eine Bewegung nur möglich ist, solange eine entsprechende Kraft wirkt. Um also ein Objekt in Bewegung zu halten, muss dieses in der Aristotelischen Physik unter dem ständigen Einfluss einer *äusseren* Kraft stehen. Die Bewegung von Geschossen kann auf diese Weise jedoch nicht erklärt werden, da eine *äussere* Kraft auf die Kugel nach Verlassen des Gewehrlaufes unmöglich auftreten kann. Die Impetustheorie postuliert nun die Annahme einer *inneren* Kraft (Impetus), die dem Geschoss beim Abschuss quasi aufgeprägt wird und dieses solange weiter bewegt, bis sich der Impetus in einem stetigen Abbauprozess verbraucht hat. Für ein Objekt, das ‚passiv‘ aus einem Flugzeug fällt, würde die Impetustheorie also keine horizontal wirkende Kraft annehmen, sondern einen senkrechten Fall prognostizieren.

Kaiser, Proffitt und McCloskey (1985) fragten Kinder, wo ein Ball landen würde, wenn er entweder von einer schiefen Ebene gerollt oder aber von einer fahrenden Spielzeugeisenbahn fallen würde, die mit derselben Geschwindigkeit unterwegs ist, mit welcher der Ball über die Tischplatte rollt. Mit steigendem Alter nahm für die erste Situation der Prozentsatz an Kindern, die richtigerweise voraussagten, dass sich der Ball noch einige Zeit horizontal weiterbewegen wird, zu. In der zweiten Situation hingegen liess sich kein Alterstrend mehr feststellen; die Mehrheit der Kinder war der Überzeugung, der Ball falle senkrecht nach unten. Dieser Befund kann so interpretiert werden, dass der *straight-down belief* mit zunehmendem Alter aufgrund wahrnehmungsbasierter Erfahrungen revidiert werden kann. Im Alltag bietet sich tatsächlich des Öfteren die Gelegenheit, zu beobachten, wie ein Objekt zum Beispiel über eine Plattform hinausrollt. Hingegen sind Gegenstände, die von fahrenden Behältnissen fallen, ausgesprochen selten zu sehen. Da ein sich bewegendes Behältnis als Bezugsrahmen bei der Wahrnehmung eines fallenden Objektes dient, könnte selbst bei Beobachtung einer solchen Begebenheit die Registrierung der

Vorwärtsbewegung während des Falls verhindert und somit die Revision des naiven Konzeptes erschwert werden. Nach der Interpretation von Kaiser et al. (1985) kann der *straight-down belief* in diesem speziellen Kontext nur durch formale Instruktion überwunden werden².

Shaffer und McBeath (2005) beschreiben in ihren Studien, dass sich Menschen darin überschätzen, die Flugbahn von geworfenen Bällen vorherzusehen. Menschen vermengen offenbar ihre wahrnehmungsbasierte Perspektive mit der physikalischen Situation, welche sie mental repräsentieren. Im konkreten Fall entspricht dies einer Repräsentation eines sich nähernden Balles, welcher während seines Fluges aufsteigt und schliesslich wieder absinkt. Die Repräsentation erfolgt ohne Bewusstsein darüber, wie sehr sich die subjektive Sicht von der physikalischen Realität unterscheidet. „Specifically, they appear to believe that they have a view that allows them to accurately perceive the physical location of the ball in flight, irrespective of their own location relative to its trajectory” (Shaffer & McBeath, 2005, S. 1499).

Laut den genannten Autoren scheinen bei einer solchen Aufgabe die Beobachter ihr eigentlich akkurates semantisches Wissen über die Flugbahn von Bällen mit der verfügbaren optischen Information zu vermengen oder gar zu ersetzen. Dies muss laut den Autoren aber nicht zwangsläufig einen negativen Effekt auf die Fähigkeit haben, Bälle zu fangen. Der Grund hierfür ist, dass solche Fähigkeiten auf optischen Kontrollheuristiken beruhen, welche es ermöglichen, aufgrund zeitlicher und räumlicher Distanz zwischen Ball und eigener Position den Zeitpunkt und Ort des Balles zu bestimmen, um ihn aufzufangen (Chapman, 1968; McLeod & Dienes, 1996; Michaels & Oudejans, 1992).

² Im Gegensatz dazu kam Krist (2000) in seinen Studien zum Schluss, dass die Überwindung des *straight-down beliefs* auch ohne formale Instruktion möglich ist.

2.1.3 Intuitive Physik der Impulsintegration

Der Impuls (das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit) eines bewegten Objektes kann bereits in früher Kindheit erfahren werden. Beispielsweise ist die Impulskraft eines bewegten Objektes schon beim ersten Versuch eines Kindes, einen Ball zu fangen, erfahrbar. Der Ball besitzt Masse und Geschwindigkeit – zwei Faktoren, welche bei dessen Abbremsen deutlich spürbar werden. Jeder bewegliche Körper kann diesen Impuls, beispielsweise bei Stößen oder Ablenkungen, auf andere Objekte übertragen oder von anderen Körpern annehmen. Soll beispielsweise ein bewegter Ball nicht nur abgebremst, sondern in eine andere Richtung abgelenkt oder beschleunigt werden, wie dies in vielen Ballsportarten der Fall ist, bestehen die daraus resultierenden Richtungen und Geschwindigkeiten aus einer Kombination aller Impulse.

Ein interessantes naives Konzept scheint bei der Beurteilung des Effektes von richtungsändernden Stößen auf sich bereits bewegend Gegenstände zu bestehen. Wenn ein ruhender Gegenstand wie z.B. ein Ball, einen Stoss in eine bestimmte Richtung erhält, dann erwartet man zu Recht, dass sich der Gegenstand in Richtung des Stosses bewegen wird, solange dieser überhaupt beweglich ist und der Stoss stark genug war, um den Gegenstand in Bewegung zu setzen. Was aber geschieht, wenn sich das Objekt schon in eine bestimmte Richtung bewegt, bevor es den Stoss erhält? Wenn der Stoss in Bewegungsrichtung oder genau entgegengesetzt erfolgt, ändert sich nur die Bewegungsgeschwindigkeit, nicht aber die Bewegungsrichtung. Wenn aber der Stoss aus einer anderen Richtung erfolgt, bewegt sich der Gegenstand dann a) in die Richtung des letzten Stosses oder b) in eine neue Richtung, welche sich aus der Ausgangsbewegung und der Stossrichtung ergibt? Die erste Antwort würde zu der oben beschriebenen Impetustheorie passen, wonach sich alle Objekte in die Richtung bewegen, in welche sie gestossen werden. Jedoch steht eine solche Theorie den Newtonschen Regeln diametral entgegen. Im Jahre 1696 veröffentlichte Isaac Newton seine drei Bewegungsgesetze in der „*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*“. Sein erstes Gesetz besagt, dass Objekte in Ruhe bleiben bzw. sich in gleichförmiger Bewegung befinden, bis eine äussere Kraft ihren Status ändert. Dies ist die Definition der Massenträgheit. Wenn keine äussere Kraft auf ein Objekt einwirkt, wird es eine konstante Geschwindigkeit beibehalten, auch wenn diese Null beträgt. Newtons zweites Bewegungsgesetz

erklärt, wie sich die Geschwindigkeit eines Objektes ändert, wenn es von einer äusseren Kraft beeinflusst wird. Das Gesetz definiert eine *Kraft* als die Änderung des *Impulses* pro Zeit (Newton, 2001).

Für ein Objekt mit konstanter Masse sagt Newtons zweites Bewegungsgesetz aus, dass die Kraft das Produkt aus der Masse und der Beschleunigung ist. Für die Änderung der Geschwindigkeit eines Objektes kommt es bei einer externen Krafteinwirkung also auf die Masse des Objektes an: Die äussere Kraft kann eine Geschwindigkeitsänderung hervorrufen bzw. eine Änderung der Geschwindigkeit ruft eine Kraft hervor. Das dritte Bewegungsgesetz besagt, dass Kräfte immer paarweise auftreten. Übt ein Körper A auf einen anderen Körper B eine Kraft aus (*actio*), so wirkt eine gleich grosse, aber entgegengerichtete Kraft von Körper B auf Körper A (*reactio*).

Das intuitive Verständnis über die Integration von Kräften wird seit einiger Zeit untersucht. In verschiedenen Untersuchungen (DiSessa, 1982; Mohr, 2001; White, 1984) wurde gezeigt, dass Personen in ihren naiven physikalischen Vorstellungen anscheinend davon ausgehen, dass nur der letzte Stoss einer Serie von Stössen auf ein Objekt einen Einfluss auf die resultierende Bewegungsrichtung ausübt. Daum, Rauch und Wilkening (2008) konnten anhand einer Analyse aller Spiele der Fussballweltmeisterschaft 2006 in Deutschland zeigen, dass selbst professionelle *Gegenstand-Bewegungsrichtungsänderer*³, in diesem Fall Fussballspieler, bei der Ausführung von Kopfbällen davon ausgehen, dass ein aus der Bewegung getroffener Ball nach einem Stoss genau in die Richtung des Stosses abgelenkt wird, obwohl sich der Ball schon vorher in eine andere Richtung bewegt hat. Konkret fanden sie heraus, dass Fussballspieler, welche von der Seite geschlagene Flanken mit dem Kopf ins Tor ablenken wollen, mit grosser Wahrscheinlichkeit am weiten Pfosten vorbei- oder zumindest in die weite Ecke des Tores köpfen.

Im Vergleich mit anderen, viel schwierigeren physikalischen Abläufen und Gesetzen, mit denen Menschen im Alltag und auch im Sport konfrontiert sind und die von Menschen problemlos korrekt ausgeführt werden, überrascht dieses offensichtliche Misskonzept, vor allem bei professionellen *Gegenstand-*

³ In Anlehnung an Mohr (2001).

Bewegungsrichtungsänderern wie Fußballspielern an einer Weltmeisterschaft. In Zusammenhang mit den Ergebnissen von McCloskey et al. (1980) sind die Ergebnisse von Daum et al. (2008) jedoch weniger überraschend. In Anlehnung an McCloskey et al. (1980) fand Clement (1982) naive, der Newtonschen Physik widersprechende Konzepte selbst bei fortgeschrittenen Studenten der Physik. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten auch Kozhevnikov und Hegarty (2001), welche die Misskonzepte damit erklärten, dass die bisherigen, üblichen Aufgabenstellungen den Versuchspersonen nicht vertraut waren und im Alltag keine Relevanz besitzen. Sie stellten den Versuchspersonen logisch identische Aufgaben, welche aber näher einer erlebten Wirklichkeit entsprachen. In diesen Experimenten schnitten physikalisch Gebildete besser ab als ‚naive‘ Physiker. Anscheinend lag also nicht ein grundlegendes Misskonzept vor, sondern, so die Schlussfolgerung der Autoren, scheinen die Versuchspersonen nur bei unvertrauten Aufgaben auf die Annahmen der Impetustheorie zurückzufallen. Daum und Krist (2009) konnten überdies zeigen, dass selbst in virtuellen Umgebungen die Performanz in einem Experiment zur Flugbahnschätzung zunimmt, wenn sie einer erlebten Wirklichkeit näher entspricht. Die Ergebnisse von Daum et al. (2008) sind jedoch in einem anderen Kontext zu sehen. Im Gegensatz zu den physikalischen Aufgaben, welche die „Experten“ bei McCloskey et al. (1980), Clement (1982) oder auch Kozhevnikov und Hegarty (2001) zu lösen hatten, entspricht das Ablenken einer Flanke mit dem Kopf für professionelle Fußballspieler sehr wohl einer vertrauten Situation: Solche Aktionen wurden hunderte Male geübt. Dass diese physikalischen Aufgaben von den Experten allein aufgrund des unvertrauten Kontextes nicht korrekt bearbeitet werden, kann in diesem Fall nicht als Erklärung herangezogen werden – es scheint tatsächlich ein Misskonzept vorzuliegen.

In seiner Dissertation untersuchte Mohr (2001) die Impulsintegration experimentell in kleinerem Rahmen. Versuchspersonen sollten einen Ball, der seitlich von einer Rampe über einen Tisch gerollt kam, in ein Tor ablenken, welches sich in einem rechten Winkel zur Bewegungsrichtung des Balles befand. Das Experiment bestand aus einer (theoretischen) Urteilsbedingung und einer Handlungsbedingung. In der Urteilsbedingung sollten die Versuchspersonen mittels einer Vorrichtung angeben, wie sie den Ball theoretisch ablenken müssten, damit dieser ins Tor gelangte. In der Handlungsbedingung mussten sie den beschleunigten

Ball effektiv mittels eines Schlägers ins Tor befördern. Knapp 40% der Versuchspersonen schlugen den Ball in einem rechten Winkel im Sinne des naiven Konzeptes, ignorierten also die seitliche Eigenbewegung, den Eigenimpuls des Balles. Auf die Frage, wie ein sich bewegendes Ball abgelenkt würde, wenn er einen Stoss exakt rechtwinklig zu seiner Ausgangsbewegung erhielte, antworteten jedoch nur knapp über 20 % der erwachsenen Versuchspersonen im Sinne des naiven Konzeptes. Es bestand hier offenbar eine Diskrepanz zwischen dem theoretischen, expliziten Urteilswissen und dem (impliziten) Handlungswissen der Versuchsteilnehmer. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen (z.B. Freyd & Jones, 1994; Huber, Krist, & Wilkening, 2003; Kozhevnikov & Hegarty, 2001; Krist, Fieberg, & Wilkening, 1993; Schwartz & Black, 1999; Wilkening & Martin, 2004) zeigte sich bei Mohr (2001) das theoretische Wissen dem handlungsbasierten jedoch überlegen; in der Handlungsbedingung wurde häufiger im Sinne des naiven Konzeptes geantwortet als in der Wissensbedingung. Das Wissen, dass der Eigenimpuls des Balles berücksichtigt werden muss, war in den Versuchspersonen, bei Experten wie bei Laien, also zum grössten Teil vorhanden. In der Handlungsbedingung kam dies allerdings nicht zum Tragen. Dies widerspricht in gewisser Weise Krist et al. (1993), welche ausführen, dass wahrnehmungsbasiertes Wissen in der Regel akkurater ist als verbale Konzepte. Dennoch lautete das Ergebnis, dass in der Urteils- wie auch in der Handlungsbedingung grosse Anteile der Antworten nach dem Prinzip „Gegenstände bewegen sich in die Richtung, in welcher sie den letzten Stoss erhalten“ abgegeben wurden. Ausserdem wurde im Versuch von Mohr (2001) mittels Selbsteinschätzung die Ballerfahrung der Versuchsteilnehmer erfasst, welche einen starken Einfluss darauf hatte, ob der erste Stoss in der Handlungsbedingung im Sinne des naiven Konzeptes abgegeben wurde oder nicht. Versuchsteilnehmer mit viel Ballerfahrung lenkten die Bälle deutlich weniger häufig im Sinne des Misskonzeptes ab als Versuchsteilnehmer mit weniger Ballerfahrung. „Experten“ wiesen in der Handlungsbedingung also einen Vorteil auf. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass den Experten ihr im Gegensatz zu den Laien akkurateres (intuitives) Verständnis der Situation inklusive möglicher Handlungsoptionen nicht bewusst ist, welches sie möglicherweise aus ihrer Erfahrung beziehen. Die Ballerfahrung hatte einen positiven Einfluss auf die Handlungsbedingung, nicht aber auf die Urteilsbedingung. Zum gleichen Schluss gelangten Hecht und Bertamini (2000), die auch keinen Zusammenhang zwischen

der Ballerfahrung der Teilnehmenden und den Ergebnissen in einer Urteilsaufgabe finden konnten.

Zu den grössten Experten in Bezug auf Ballerfahrung und –ablenkung gehören wohl professionelle Fussballspieler. Wie Daum et al. (2008) anhand ihrer Post-Hoc-Analyse zeigen konnten, besteht aber selbst bei den Teilnehmern der Fussball-Weltmeisterschaft 2006 ein Misskonzept bei der Ballablenkung. Obwohl die Lerneffekte bei den Versuchen von Krist et al. (1993) sowie von Mohr (2001) sehr stark waren – d.h. den grössten „Fehler“ im Sinne des naiven Konzepts machten die Versuchspersonen jeweils im ersten Testdurchgang – scheinen Fussballer, zumindest in der kompetitiven Situation einer Weltmeisterschaft, nicht auf solche Lerneffekte zurückgreifen zu können und verfallen, in Anlehnung an McCloskey (1983), auf Verfahrensweisen, welche den Annahmen der Impetustheorie entsprechen. Die Anwendung dieser Theorie macht in vielen Situationen durchaus Sinn und ist nicht grundsätzlich fehlgeleitet. Wie Kozhevnikov und Hegarty (2001) beschreiben, erlaubt die Impetustheorie

...to extrapolate objects' motion quickly and without large demands on attentional resources. Reliance on the notion that objects somehow lose their internal energy as a result of motion allows us to respond quickly to a variety of situations in a world in which air, land, and water all offer air resistance or friction. Impetus seems to reflect the phenomenological aspects of our interaction with objects, and it is not surprising, then, that impetus beliefs are retained, even though they occasionally lead to errors in predictions (S. 450).

Dennoch glauben die Autoren, dass in Situationen, in denen nicht-reflexive, schnelle Entscheidungen getroffen werden müssen, Menschen die Impetustheorie heuristisch anwenden. Bei genügend zur Verfügung stehender Zeit würden Menschen aber in der Lage sein, selbst komplexeste physikalische Berechnungen korrekt auszuführen. Zu ähnlichen Ergebnissen, dass nämlich Experten dieselben systematischen Fehler begehen wie Laien, – in diesem Fall im Statistikbereich –, kamen zuvor Tversky und Kahnemann (1986) in ihren Versuchen zum Konjunktionsfehler. Diese Autoren gehörten zu den ersten, welche darauf hingewiesen haben, dass es für Menschen in gewissen Situationen von Vorteil sein kann, Entscheidungen aufgrund weniger, salienter Informationen zu treffen.

McKenzie (1994) kam in seinen Versuchen zum gleichen Schluss, dass nämlich in vielen Situationen das intuitive Vorgehen der Versuchsteilnehmer eine effiziente Lösungsstrategie darstellte. Seiner Meinung nach sind diese intuitiven Strategien so viel einfacher als normative Regeln, dass sie es Menschen viel eher erlauben, akkurate Entscheidungen aufgrund weniger Informationen zu treffen. Gleiches könnte für die Impetustheorie gelten. Ihre Prinzipien sind viel simpler als die Newtonschen Regeln, nach denen Flugbahnen korrekt berechnet werden könnten, und geben, wenn auch nicht in jeder Situation exakt, eine angemessene Einschätzung der Wirklichkeit ab.

Die Idee der Anwendung impetustheoretischer Konzepte steht charakteristisch für einen Satz verschiedener naiver Vorstellungen und Ideen, auf welche Menschen in bestimmten (Stress-)Situationen zurückfallen können, um unter speziellen Umständen akkurate Entscheide zu treffen und Handlungen auszuführen. Viele solcher Konzepte, auf welche hier nicht näher eingegangen werden soll, finden sich im Ansatz der *fast and frugal heuristics* (FFH) wieder (Gigerenzer & Goldstein, 1996; Gigerenzer & Todd, 1999). Diese Heuristiken sind schnell (*fast*), weil sie relativ wenige Bewertungen und Schätzungen enthalten, und sie sind sparsam (*frugal*), da vorhandene Information ignoriert wird. In der Entscheidungs- und Risikoforschung wird die Tatsache, dass Menschen vorhandene Informationen ignorieren, teilweise als Indikator für einen Denkfehler betrachtet (z.B. Conlisk, 1996). Je nach Bedingung lässt sich jedoch in verschiedenen Versuchen durch solche simplifizierten Strategien das menschliche Verhalten genauso gut oder sogar besser erklären als durch den Ansatz der Verarbeitung möglichst vieler Informationen (z.B. Bennis & Pachur, 2006; Goldstein & Gigerenzer, 2002). Dies zeigt sich in Untersuchungen zu Vorhersagen von Sportereignissen (z.B. Andersson, Edman, & Ekman, 2005; Forrest & Simmons, 2000; Serwe & Frings, 2006) oder wirtschaftlichen Entwicklungen (z.B. DeMiguel, Garlappi, & Uppal, 2009) ebenso wie in der Entscheidungsfindung in sportspezifischen Situationen (Raab, 2003).

Erfahren Menschen genügend akkurates Feedback in ihren Handlungen und Einschätzungen, gelten Heuristiken als adaptiv (Goldstein & Gigerenzer, 2009). Dies bedeutet, dass solche Heuristiken in Umgebungen eingesetzt werden, in welchen sie als ökologisch rational angesehen werden können (Dieckmann &

Rieskamp, 2007; Simon, 1959). Solche Überlegungen könnten vielleicht auch bei dem beschriebenen Phänomen eine Rolle spielen. Vor diesem Hintergrund müsste dann auch die Verwendung des Wortes *Misskonzept* in Frage gestellt werden, denn es scheint möglich, dass die Ergebnisse von Daum et al. (2008) nicht etwa einen grundlegenden Fehler in der physikalischen Ablenkung bewegter Objekte abbilden, sondern viel eher das Resultat einer Heuristik darstellen, welche zum beobachteten Muster der Kopfbälle führt. Diese könnte einer Standardbewegung entsprechen, welche zwar nicht mit Sensibilität auf unterschiedliche Geschwindigkeiten des Balles reagiert und deshalb in vielen Fällen zu keinem Erfolg führt, sich jedoch in vielen anderen Fällen als genügend erfolgreich erwiesen hat und deshalb bei einer solch schwierigen und komplexen Aufgabe beibehalten wird. Die Bezeichnung *Misskonzept* ist auch aus anderem Grund leicht irreführend. Es beschreibt eine Abweichung von einer Norm, in diesem Fall einer physikalischen. Es ist jedoch möglich, dass zugrundeliegende Motive für gewisse Handlungen, Ergebnisse oder Theorien durch experimentelle Versuche nicht abgebildet werden können. Ein der geltenden Norm zuwiderlaufendes Ergebnis muss deshalb nicht notwendigerweise einem Misskonzept entsprechen. Aus Untersuchungen zur Impulsintegration bewegter Objekte und Bewegungsbahnen ist jedoch bekannt, dass Menschen Fehleinschätzungen unterliegen und deren Handlungen sich in entsprechenden Aufgaben oft in von der Norm abweichenden Ergebnissen zeigen. In den weiteren Passagen dieser Arbeit werden deshalb die Begriffe Misskonzept und intuitives bzw. naives Konzept synonym verwendet.

Kozhevnikov und Hegarty (2001) gehen davon aus, dass Laien wie Experten denselben intuitiven Regeln über Bewegungen von Objekten folgen und dass diese auf wahrnehmungsbasierten Erfahrungen beruhen. Sie glauben, dass Menschen impetustheoretischen Annahmen mittels einer Art Standard-Heuristik folgen, wenn andere Informationen nicht verfügbar oder in ungenügendem Ausmass vorhanden sind. Sie sind jedoch der Überzeugung, dass dieser implizite Glaube unterdrückt werden kann: „We propose that these implicit beliefs can be suppressed in favor of correct physics principles, if one has learned these principles and has enough time to reflect, or as a result of specific contextual experience” (Kozhevnikov & Hegarty, 2001, S. 451). Diese Aussage widerspricht jedoch den Ergebnissen der Studien von Spelke (1991; 1994) und auch von Daum et al. (2008).

Die Integration physikalischer Kräfte bewegter Objekte ist vielen Sportarten immanent und von entscheidender Bedeutung. So findet bei jedem Schlag im Tennis, jeder Ballabnahme im Fussball und jedem Schuss im Hockey eine Integration von Kräften statt, welche sich beispielsweise aus der physikalischen Kraft des Schlages, welcher vom Akteur ausgeht, und dem Impuls des sich bewegenden Spielobjekts zusammensetzt.

Wie unter Abschnitt 2.1.3 dargelegt, besitzt jedes bewegte Objekt bestimmter Masse einen Impuls. Dieser Impuls ist das Produkt von Masse und Geschwindigkeit des Objekts und ist eine Vektorgrösse, besitzt also neben dem Betrag auch eine Richtung, nämlich die der Bewegung selbst. Wird nun auf einen Körper, z.B. einen Ball, eine bestimmte Kraft ausgeübt, so ist der Einfluss dieser Kraft von ihrer Richtung, ihrem Betrag sowie von der Dauer der Krafteinwirkung abhängig. Abbildung 1 stellt eine prototypische Situation dar, wenn ein von der Seite nahender Ball auf ein Ziel mittels Kraftstoss in einem rechten Winkel abgelenkt werden soll. Dieser Ball bringt entsprechend Impulskraft in dieselbe Richtung mit. Die resultierende Richtung des Balles nach dem Kraftstoss hängt also von den Impulsen des Balles sowie des Stosses ab. Wird der Stoss genau in Richtung des Zieles ausgeführt und ist dessen Impuls viel grösser als derjenige des Balles, wäre die resultierende Richtung etwa in Richtung des Tores. Je schwächer der Kraftstoss und damit der Impuls des Schlages, desto eher verfehlt der Ball das Ziel auf der weiten Seite. Die gewünschte Richtungsänderung kann nicht nur durch *Stosskraft (Kraftkompensation)*, sondern auch durch Anpassung der *Stossrichtung (Winkelkompensation)* erreicht werden (Abbildung 1). Wird der Stoss genau in Richtung des Zieles ausgeführt (also in einem 90° -Winkel) und seine Kraft ist ähnlich stark wie der Impuls des Balles, wird der Ball aufgrund seines Eigenimpulses zwangsläufig in einem Winkel abgelenkt, der grösser als diese 90° ist. Soll jedoch der Ball selber nach dem Schlag einem rechten Winkel folgen, muss der Stoss in eine Richtung ausgeführt werden, der kleiner als 90° ist (bei gleicher Impulskraft von Ball und Stoss in einem 45° -Winkel).

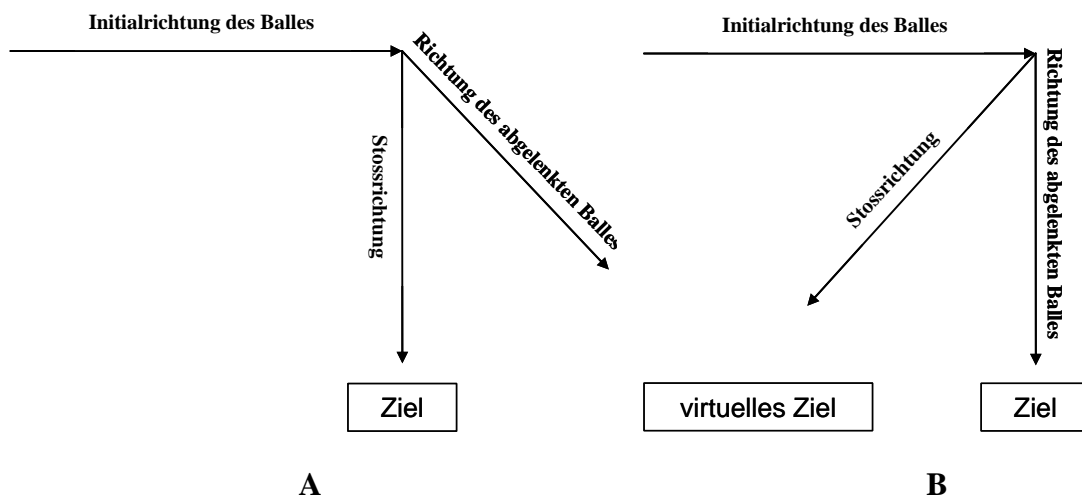


Abbildung 1 Schematische Darstellung der Ballablenkung bei angenommener gleicher Impulskraft von Ball und Kraftstoß. A) Verlauf der Ablenkung, wenn die Richtung des Stosses genau auf das Ziel gerichtet ist. Der Ball wird in zu grossem Winkel abgelenkt und verfehlt das Ziel auf der weiten Seite. B) Verlauf der Ablenkung, wenn die Richtung des Stosses in einem 45° -Winkel auf ein ‚virtuelles‘ Ziel stattfindet. Der Ball wird auf das Ziel abgelenkt.

2.1.4 Internalisation und Externalisation

In seinem Artikel diskutiert Shepard (2001) die Frage der Internalisation physikalischer Randbedingungen. Seiner Meinung nach besteht die Möglichkeit, dass sich die Eleganz physikalischer Prinzipien, welche dem Universum eigen sind, auch im menschlichen Verstand manifestiert. Die natürliche Selektion hat dafür gesorgt, dass beispielsweise ein Raubvogel nicht nur über scharfe Krallen, sondern auch über ein sehr scharfes Auge verfügt. Ebenso besitzt ein Nager als potenzielle Beute des Vogels nicht nur flinke Beine, sondern auch die Fähigkeit der sofortigen Erinnerung an den effizientesten Weg zum eigenen Bau. Lebewesen sind an ihre Umwelt angepasst. Adaptation findet jedoch nicht nur universell und durch Selektion über Generationen statt, sondern auch durch Lernen und Anpassung innerhalb der Lebensräume einzelner Individuen. Spiegeln sich überdauernde, äussere Gegebenheiten in entsprechender Gen-Ausstattung von Lebewesen wider, so wird in diesem Zusammenhang von *Internalisation* gesprochen (z.B. Hecht, 2001; Shepard, 2001). Dies stellt einen Gegensatz zu *erlernten* Verhaltensweisen dar, welche durch individuellere, weniger globale Anpassungen charakterisiert werden können. Beispielsweise scheinen Lebewesen die Auswirkungen der

Drehung der Erde, welche zum Tag-Nacht-Zyklus führt, internalisiert zu haben, was sich in unterschiedlichen und den jeweiligen Umgebungen angepassten circadianen Rhythmen zeigt. Demgegenüber entspricht beispielsweise das spezifische Essverhalten von Stadtfüchsen, die sich im Gegensatz zu ihren Artgenossen auf dem Land zum Teil fast ausschliesslich von menschlichem Abfall ernähren, wohl eher *erlerntem* Verhalten.

Nach Shepard (2001) lässt sich die Diskrepanz zwischen intuitiver und klassischer Newtonscher Physik, welche sich in den diversen Studien zum Thema zeigt (Kaiser, Proffitt, & Anderson, 1985; Krist et al., 1993; McCloskey, 1983; Proffitt & Gilden, 1989; Wilkening & Lamsfuss, 1993; Wilkening & Martin, 2004), durch die Kontamination und Kombination von einerseits naiven physikalischen Theorien, andererseits von internalisiertem Wissen erklären. Denn es sei gut möglich, so spekuliert er, dass die auf Evolution basierende Internalisation universeller Gesetzmässigkeiten in einigen Bereichen eine tiefere Verarbeitung gefunden hat als in anderen.

The principles that have been most deeply internalized may reflect quite abstract features of the world, based as much (or possibly more) in geometry, probability, and group theory, as in specific, physical facts about concrete, material objects (Shepard, 2001, S. 601).

Hecht und Bertamini (2000) präsentierten in ihrer Studie Zeichnungen verschiedener möglicher und unmöglicher Flugbahnen von geworfenen Bällen (Baseballs). Die Teilnehmer schätzten teilweise auch solche als realistisch ein, welche komplett von einer natürlichen Flugbahn abweichen, wie z.B. schnurgerade Linien, halbkreisartige oder auch solche mit einem eigentlichen Knick auf dem höchsten Punkt der Flugphase. In einem anderen Versuch sollten Versuchspersonen bei einer gezeichneten Flugbahn eines Baseballs angeben, an welchem Ort sich der Ball in maximaler Geschwindigkeit befindet. Über 50% aller Teilnehmer gaben an, dass der Ball nach Verlassen der Hand noch weiter beschleunigt und erst danach an Geschwindigkeit verliert. Andere Antworten entfielen auf eine konstante Geschwindigkeit, auf kontinuierliche Beschleunigung bis zum Fänger oder sogar auf eine langsame, allmähliche Beschleunigung des Balles. Die korrekte Antwort, dass nämlich die Geschwindigkeit des Balles nach Verlassen der Hand stetig abnimmt, wurde nur von 15.5% aller Teilnehmenden gegeben. Hecht (2001)

widerspricht aufgrund derartiger Resultate der Annahme einer Internalisation im engeren Sinne, er spricht in diesem Zusammenhang gar von Externalisation:

These findings suggest that observers judge the throwing action as a whole and fail to parse the motor action from the mechanical event, or in other words, that the body mechanics of throwing have been externalized and projected onto the inanimate projectile (Hecht, 2001, S. 11).

Eine Alternativerklärung wäre die Annahme, die Versuchsteilnehmer hätten den Ball als belebtes Objekt eingeschätzt, was diesem eine Unzahl rein theoretischer Beschleunigungsmöglichkeiten bieten würde. Dies ist jedoch höchst unwahrscheinlich, wurde doch die Fähigkeit zur Unterscheidung von belebten und unbelebten Objekten bereits bei Vorschulkindern mehrfach nachgewiesen (z.B. Massey & Gelman, 1988). Vielmehr legen die Ergebnisse von Hecht (2001) die Annahme einer auf der Impetustheorie beruhenden Einschätzung der Flugbahnen nahe.

2.1.5 Embodied Knowledge und Embodied Cognition

Der Ausdruck *Embodied Knowledge* („verkörperlichtes“ Wissen) bezeichnet eine in menschlichen und technischen Körpern inkorporierte Form impliziten Wissens. Theorien der *Embodied Cognition* gehen davon aus, dass unsere Repräsentationen von Objekten und Ereignissen in einem engen Zusammenhang mit den damit verbundenen Handlungsmöglichkeiten stehen. Dies im Gegensatz zu traditionellen Ansätzen, in welchen das Gehirn als abstrakter Informationsapparat angesehen wurde. Unsere gesamte Kognition, also die Art und Weise, wie wir Objekte und Ereignisse in der Umwelt repräsentieren, hängt demnach von den eigenen Handlungserfahrungen ab.

Es bringt einige Schwierigkeiten mit sich, eindeutige Grenzen zwischen Internalisation und Externalisation, implizitem, explizitem und intuitivem Wissen sowie Embodied Knowledge zu ziehen. Im Prinzip entspricht die Internalisation neuen Wissens einer Transformierung von explizitem in implizites Wissen. In der Praxis beruht diese Internalisation auf explizitem Wissen, welches durch Anwendung und Training „embodied“, also *verkörperlicht* wird, wodurch

vorhandene Konzepte und Methoden quasi automatisch aktualisiert werden (Nonaka & von Krogh, 2009).

2.1.6 Der Einfluss spezifischer Erfahrung

Erfahrung im Umgang mit bestimmten physikalischen Gegebenheiten oder Umgebungen geht oft mit einer Verbesserung der Leistung einher (Frick, Huber, Reips, & Krist, 2005), wie es beispielsweise auch bei sportspezifischem Training zu beobachten ist. Bei der Wasserstandsaufgabe oder *Water-level Task* (Piaget & Inhelder, 1956) geht es darum, die Wasseroberfläche in einem Gefäß, welches in unterschiedlichen Neigungswinkeln relativ zu einer Referenzebene dargestellt ist, korrekt einzuschätzen. Ursprünglich für die Untersuchung räumlicher Konzepte bei Kindern und als Papier-Bleistift-Version konzipiert, wurde der Test zu einem der am meisten untersuchten Problemstellungen der kognitiven und Entwicklungspsychologie (Liben, 1991). Die Lösung ist denkbar einfach: Der Wasserspiegel verläuft invariant horizontal, unabhängig vom Neigungswinkel des Gefäßes. In Erwachsenenstichproben schätzen jedoch bis zu 40% der Teilnehmer den Wasserspiegel mehr als fünf Neigungsgrade abweichend von der Horizontalen ein. Weibliche Versuchsteilnehmer schneiden in diesem Test generell schlechter ab und geben öfter nicht-horizontale Antworten als männliche (z.B. Kalichman, 1988; Robert & Tanguay, 1990). Einer der erstaunlichsten Befunde zum *Water-level Task* betrifft jedoch den Zusammenhang zwischen Erfahrung und Leistung. Barkeeper und Kellnerinnen schneiden im Test nicht nur signifikant schlechter ab als Kontrollgruppen, sie wundern sich in der anschließenden Nachbefragung auch am meisten über das korrekte Resultat. Darüber hinaus korrelieren die Fehlerwerte der Kellnerinnen signifikant mit der Anzahl Jahre Berufserfahrung (Hecht & Proffitt, 1995). Diesen Befund erklären Hecht und Proffitt (1995) mit der über Erfahrung erlernten Objekt-relationalen Perspektive. Wir sind es gewohnt, die Flüssigkeit in einem Gefäß nicht zu verschütten und achten vor allem auf das Objekt (Glas) und die Flüssigkeit. Als Referenzsystem dieser Perspektive dienen die Hauptachsen des Gefäßes. Sinnvoller bei solchen Problemstellungen wäre das Einnehmen einer Umgebungs-relationalen Perspektive, indem die Horizontale von der Gravitations-

Vertikalen abgeleitet wird.⁴ Barmaids und Barkeeper haben diesbezüglich eine starke Objekt-relationale Perspektive erlernt, die sich analog zur Berufserfahrung verstärkt. Mit anderen Worten: Für sie ist das Glas als Referenzrahmen wichtiger als für andere Menschen. Ähnliche Erklärungen können auch für den Befund angeführt werden, dass ältere Teilnehmende, unabhängig vom Beruf, schlechter abschneiden als jüngere, auch wenn sie in Bezug auf den Bildungsstatus ebenbürtig sind (Robert & Tanguay, 1990). Praktische Erfahrung führt also nicht grundsätzlich zu einem besseren Verständnis der zugrunde liegenden physikalischen Prinzipien. Es scheint eher so zu sein, dass „...practical experience consists of the least-effort acquisition of knowledge that is functional and indispensable to perform the required action” (Hecht & Proffitt, 1995, S. 95).

Auffällig an vielen Versuchen zum *Water-level Task* ist die Tatsache, dass sich die Teilnehmenden, unabhängig davon, ob ihre Einschätzungen korrekt waren, in mündlichen Nachbefragungen ihrer Antworten sehr sicher zeigen (Howard, 1978; Liben, 1991). Ausserdem tritt ganz offensichtlich eine beträchtliche Diskrepanz zwischen Leistung und explizitem Wissen zu Tage: Einerseits zeichnen Teilnehmer, welche in einer Nachbefragung explizit über das Prinzip der Horizontalität von Wasseroberflächen verfügen, schräge Flüssigkeitslevels, andererseits zeichnen Personen ohne dieses explizite Wissen dennoch horizontale Levels (Myer & Hensley, 1984). Langjährige Erfahrung, explizites Wissen oder höheres Alter bewirken in Bezug auf physikalische Gegebenheiten also nicht automatisch ein besseres Verständnis derselben, zumindest nicht, wenn man die Ergebnisse von Wasserstandsaufgaben zugrunde legt.

Riener, Proffitt und Salthouse (2005) untersuchten den Zusammenhang zwischen Leistung in Aufgaben zur intuitiven Physik und Intelligenz, Alter, Schulbildung sowie spezifisch physikalischer Vorbildung. Die einzelnen Tests zur intuitiven Physik bestanden aus Fragen und Problemstellungen zu fallenden Objekten, Wasserstandsaufgaben, Archimedischem Prinzip (Auftrieb), gekrümmter Röhre sowie schwingenden Pendeln. Die Ergebnisse zeigten einen starken Zusammenhang zwischen der Leistung in den Tests und der Intelligenz (*fluid und*

⁴ Für eine ausführlichere Beschreibung und Interpretation siehe Asch & Witkin (1948) sowie Hecht & Proffitt (1995).

kristallin). Da zumindest das fluide Denkvermögen mit dem Alter abnimmt (Salthouse, 2004), wurde auch ein negativer Zusammenhang zwischen der Leistung in Tests zu intuitiver Physik und zunehmendem Alter erwartet. Ein solcher Zusammenhang wurde jedoch nicht gefunden.

Die von Hecht und Proffitt (1995) beschriebene negative Korrelation zwischen Alter und/oder Erfahrung und der Leistung scheint also nicht für alle Bereiche der intuitiven Physik zu gelten. Der Blick in die Literatur zeichnet demnach ein ausgesprochen heterogenes Bild. Unterschiedliche Problemstellungen zur intuitiven Physik scheinen keine einheitlichen Zusammenhänge mit anderen Faktoren wie Erfahrung oder Alter aufzuweisen, mehr Bedeutung kommt offenbar den spezifischen Problemstellungen innerhalb der intuitiven Physik zu.

2.1.7 Exkurs: Choking under pressure

In der Studie von Daum et al. (2008) wird darüber spekuliert, ob ein Grund für die gefundenen Ergebnisse dem Phänomen *Choking under pressure* zugeschrieben werden kann. Ist die Leistung in einer Aufgabe von besonders hohem Interesse (subjektiv und/oder objektiv), scheint mit höherer Wahrscheinlichkeit auch eine Leistungseinbusse aufzutreten. Die experimentellen Studien von Baumeister (1984) machten dieses Phänomen unter dem Namen *Choking under pressure* bekannt. Es beschreibt den oft beobachteten Umstand, dass eine von einer Person erbrachte (Experten-)Leistung in bestimmten Situationen, wo sie psychosozialem oder zeitlichem Druck ausgesetzt ist, nicht mehr auf demselben Niveau erbracht werden kann wie sie unter normalen Umständen von ihr erwartet werden könnte. Solche Zustände entstehen häufig dann, wenn dem Ausgang eines Ereignisses ein hoher Stellenwert beigemessen wird (Baumeister, 1984) und die ausführende Person hoch motiviert ist, die Aufgabe zu lösen (Masters, 1992). Solche Situationen entstehen in vielen subjektiv wichtigen Bereichen des Lebens, häufig zu beobachten z.B. in entscheidenden Situationen im Sport (Doppelfehler im Tennis, Verschiessen eines Elfmeters im Fussball, Freiwurffehler im Basketball, Puttingfehler im Golf usw.), aber auch in anderen Bereichen, etwa wenn wichtige Entscheide zu fällen oder entscheidende Prüfungen zu bewältigen sind. Experimentell untersucht wurde dieses Phänomen vor allem im Bereich motorischer Fertigkeiten (z.B. Beilock & Carr, 2001; Gray, 2004; Gucciardi & Dimmock, 2008; Kocher, Lenz, & Sutter,

2008; Reeves & Tenenbaum, 2005) sowie mathematischem Problemlösen (z.B. Beilock & Carr, 2005; Beilock & DeCaro, 2007). Theorien des motorischen Lernens legen nun nahe, dass die Leistung von Novizen durch Strukturen des Arbeitsgedächtnisses geleitet wird und nach einem Schritt-für-Schritt-Prinzip funktioniert. Die Leistung von Experten hingegen basiert auf Automatismen, welche während der Ausführung vorwiegend von Prozessen gesteuert und kontrolliert werden, welche ausserhalb des Arbeitsgedächtnisses ablaufen (Anderson, 1993; Beilock & Carr, 2001; Beilock, Kulp, Holt, & Carr, 2004; Fitts & Posner, 1967; Keele & Summers, 1976).

2.1.8 Der Einfluss von Instruktionen

Instruktionen können die Leistung in motorischen Aufgaben verbessern (z.B. Beilock, Bertenthal, McCoy, & Carr, 2004). Die Art der Instruktion übt auf die Qualität der Leistung jedoch einen entscheidenden Einfluss aus, welcher von der motorischen Erfahrung der ausführenden Person abhängig ist. Beilock et al. (2004) liessen Golfspieler, Novizen wie Experten, unter verschiedenen Bedingungen aus kurzer Distanz Golf-Putts ausführen. Entweder wurde in der Instruktion eine möglichst schnelle oder aber eine möglichst genaue Ausführung, ohne zeitliche Einschränkung, verlangt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Zeit-Instruktion bei Novizen zu einer schlechteren Leistung führte als die Exaktheits-Instruktion. Die Experten hingegen erzielten unter Zeitdruck weitaus bessere Resultate, als wenn sie auf die Genauigkeit achten sollten. Diesen scheinbar paradoxen Effekt erklären die Autoren damit, dass eine schnelle Ausführung Novizen daran hindert, die erst fragilen technischen Fertigkeiten Schritt für Schritt auszuführen und deshalb die Leistung sinkt. Experten hingegen haben den Bewegungsablauf eines Golf-Putts automatisiert. Zusätzliche Zeit bei der Ausführung führt zu einer Störung dieses Automatismus, weshalb sich bei Experten die Leistung unter der Zeit-Instruktion verbessert. Mit der Automatisierung einer Bewegung ist eine unbegrenzte Zeitdauer zur exakten Ausführung also keine notwendige Bedingung. Im Gegenteil – eine rasche Ausführung kann bei automatisierten Prozessen gar zu einer Leistungssteigerung beitragen. Dass die Konzentration auf die Bewegung einer motorischen Aufgabe zu Leistungseinbussen führen kann, zeigt sich in verschiedenen Studien (z.B. Kimble & Perlmutter, 1970; Masters, 1992), aber auch

in der individuellen Wahrnehmung von Sportlern, wie die Auswertungen von persönlichen Berichten verdeutlichen (Gallwey, 1982; Klatzky, 1984; Schneider & Fisk, 1983). Instruktionen, welche motorische Aufgaben erleichtern sollten, scheinen denn auch unterschiedliche Effekte hervorzurufen (Beilock, Kulp et al., 2004). Wird durch eine Instruktion die Aufmerksamkeit von Versuchspersonen auf relevante Aspekte der Ausführung gelenkt (also z.B. auf den Fuss, mit dem ein Ball jongliert werden muss), reagieren Novizen und Experten unterschiedlich: Novizen profitieren von einer solchen *skill-focused instruction*, wogegen bei Experten die Leistung nachlässt (z.B. Reeves & Tenenbaum, 2005). Die Erklärung: Wie unter Punkt 2.1.7 beschrieben, unterscheiden sich Experten von Novizen hinsichtlich der Hirnprozesse, welche an der motorischen Leistung beteiligt sind. Durch Wiederholung von Bewegungsmustern werden über die Zeit Automatismen generiert, welche die Konzentration auf jeden einzelnen Bewegungsschritt überflüssig machen. Werden also Experten durch Instruktion oder Zweitaufgaben gezwungen, ihre Automatismen aufzugeben und sich auf einzelne Schritte der Bewegung zu konzentrieren, nimmt ihre Leistung ab. Bei Novizen hingegen wirkt die Fokussierung auf wenigstens einen relevanten Aspekt der Ausführung als Hilfestellung – die Leistung nimmt entsprechend zu. Weiterführende Erklärungen hierfür liefern einerseits die *Explicit monitoring theories* (z.B. Beilock & Carr, 2001; Beilock, Carr, MacMahon, & Starkes, 2002; Beilock, Kulp et al., 2004), andererseits die *Constrained action hypothesis* (McNevin, Shea, & Wulf, 2003; Wulf & Prinz, 2001). Beide Ansätze gehen von einer Störung automatisierter Prozesse durch bewegungsbezogene Aufmerksamkeitslenkung aus. Die Erklärungen dafür sind jedoch unterschiedlich.⁵ Die methodenbezogenen Ansätze beider Theorien sind für diese Arbeit relevant: Unterschiede zwischen Experten und Novizen bestimmter Bewegungen werden vor allem im Kontext der *Explicit monitoring theories* untersucht. Die Aufmerksamkeitslenkung erfolgt dort meist mittels Doppelaufgaben (*dual-task*). Die Forschung mit Bezug zur *Constrained action hypothesis* arbeitet demgegenüber häufig mit Instruktionen zur Lenkung der Aufmerksamkeit. Die Art der Instruktion ist dabei (mit-)entscheidend. Die Aufmerksamkeit kann einerseits auf ausführungsrelevante Aspekte gerichtet werden (*skill-focus*), indem die eigene

⁵ Für eine Übersicht und Gegenüberstellung der beiden Theorieansätze siehe Castaneda & Gray (2007).

Bewegung ganz bewusst expliziten Regeln folgt und diese Schritt für Schritt ausgeführt werden. Ebenso kann die Aufmerksamkeit auch absichtlich in eine andere Richtung gelenkt werden, um eine gedankliche Auseinandersetzung mit der Aufgabe zu unterbinden.

2.1.9 Implizites und explizites (motorisches) Lernen

Laut diverser Autoren kann Wissen, auch im motorischen Bereich, nicht nur explizit, sondern auch implizit sein (Berry & Broadbent, 1984, 1987, 1988; Reber & Allen, 1978). Explizit bedeutet in diesem Fall, dass verbalisierbare Regeln vorliegen, welche einer Person bewusst sind und auf welche sie sich bei einer Bewegungsausführung beziehen kann. Implizites Wissen dagegen gilt als weitgehend nicht bewusst und ist auch deshalb kaum zu verbalisieren. In diesem Sinne sind auch Untersuchungen verschiedener Autoren zu verstehen, welche die Wirkung von Bewegungslernen in impliziten bzw. expliziten Kontexten untersuchten (z.B. Bird, Osman, Saggerson, & Heyes, 2005; Masters, 1992). Als *implizit* gelten Instruktionen oder Lerntrials, welche keinerlei Informationen über die Regeln enthalten, wie eine Bewegung auszuführen ist. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, besteht darin, dem Akteur während der Bewegungsausführung eine zweite, in der Regel kognitive, Aufgabe darzubieten, welche gleichzeitig gelöst werden muss (*dual-task*). Beispielsweise führen Versuchsteilnehmer ohne Instruktion einen Golf-Putt aus, während sie gleichzeitig einen Arbeitsgedächtnistest absolvieren müssen. So werden die Teilnehmer daran gehindert, über das Arbeitsgedächtnis selber ‚Regeln‘ zur Bewegungsausführung zu entwickeln oder sich Bewegungsabläufe zu merken (Masters, 1992). Eine weitere Möglichkeit impliziten motorischen Lernens ist die Beobachtung von Experten. Alleine durch Beobachtung eines prototypisch korrekten Bewegungsablaufs kann die eigene Leistung in anschliessenden Tests gegenüber Kontrollgruppen signifikant gesteigert werden (Bird et al., 2005; Brass, Bekkering, Wohlschläger, & Prinz, 2000; Elsner & Pauen, 2007; Porro, Facchin, Fusi, Dri, & Fadiga, 2007; Wulf, Shea, & Lewthwaite, 2010).

2.1.10 Die Wahrnehmung von Winkeln

Bei der Betrachtung von Winkeln scheint für den menschlichen Beobachter der rechte Winkel eine spezielle Position einzunehmen. Mit ungewöhnlicher Präzision können wir beispielsweise beim Betrachten von Figuren in vielen Fällen bereits die leichteste Abweichung von 90 Grad erkennen (Maniatis, 2010). Goldmeier (1972) konnte zeigen, dass diese Sensibilität auf Orthogonalität steigt, wenn zwei Beine einer Figur mit der vertikalen und horizontalen Achse des dargebotenen Rahmens übereinstimmen. Bereits Wundt (1862) beschrieb das Phänomen, dass Menschen in Wahrnehmung und Handlung dazu neigen, spitze Winkel als grösser und stumpfe Winkel als kleiner zu interpretieren, als sie in Wirklichkeit sind. Dieser Befund wurde in vielen Experimenten mit gleichem Ergebnis repliziert (z.B. Carpenter & Blakemore, 1973; Fisher, 1969; Greene, 1994; Nundy, Lotto, Coppola, Shimp, & Purves, 2000)⁶. Veranschaulichen lässt sich dies anhand einer einfachen Form der *Tilt Illusion* (z.B. Gibson, 1937; siehe Abbildung 2). Wird Probanden eine senkrechte Linie präsentiert, welche von einer anderen, leicht im Gegenuhrzeigersinn geneigten Linie gekreuzt wird, so wird die erste Linie nicht mehr als senkrecht eingeschätzt, sondern um einige Winkelgrade im Uhrzeigersinn gekippt. Wie weiter oben dargestellt wurde (siehe Abbildung 1), besteht eine Schwierigkeit der Ablenkung eines bewegten Objekts darin, dass zwei für die Ablenkung relevante Richtungen in Konkurrenz stehen. Die eine ist die Richtung zum Ziel, die andere ist diejenige, in welche das Objekt abgelenkt werden muss, um das Objekt auf das Ziel lenken zu können (*virtuelles Ziel*). Die Parallele zur *Tilt Illusion* wird hier augenfällig: Stellt man sich die konkurrierenden Richtungen als Linien mit der Hauptrichtung zum Ziel vor, dann ist die wahrgenommene Richtung zum Ziel leicht in die Gegenrichtung des virtuellen Ziels verschoben, was einen zu grossen wahrgenommenen Winkel zur Folge hat (Abbildung 2 B). Dieses Phänomen könnte ein Grund für Ergebnisse von Studien zur Impulsintegration sein (Daum et al., 2008; DiSessa, 1982; McCloskey, 1983; McCloskey & Kohl, 1983; Mohr, 2001; White, 1984).

⁶ Für eine Übersicht psychologischer Forschung zu visuellen Illusionen und Winkelfehlwahrnehmungen siehe Robinson (1998).

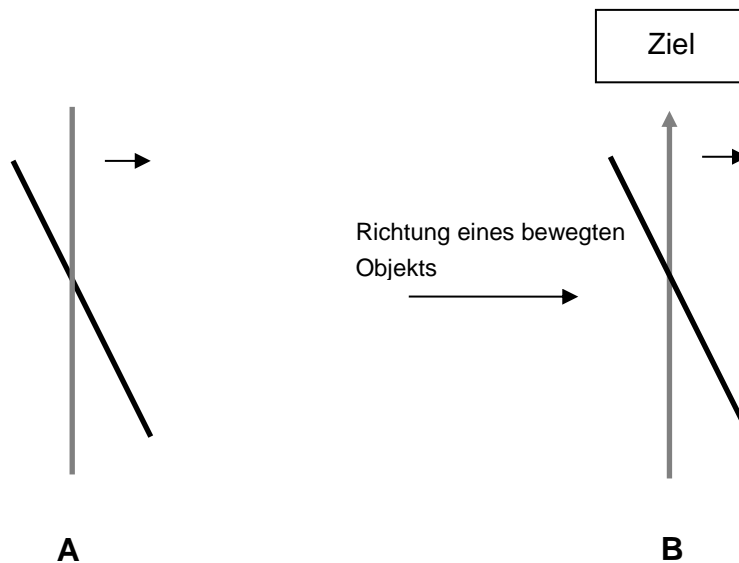


Abbildung 2 Die Tilt Illusion. A) Die graue, senkrechte Linie wird im Kontext der schrägen, schwarzen Linie als leicht im Uhrzeigersinn gekippt wahrgenommen. B) Tilt Illusion, dargestellt im Kontext der Objektablenkung; der graue Pfeil illustriert die Zielrichtung eines bewegten, abzulenkenden Objekts.

Die intuitive Physik als Forschungsparadigma besteht seit vielen Jahren und hat zahlreiche Experimente zu intuitiven Vorstellungen physikalischer Vorgänge hervorgebracht. Die Ergebnisse sind jedoch nicht in allen Bereichen konsistent. Dies betrifft vor allem äussere Einflussvariablen wie beispielsweise spezifische Erfahrung oder die Auswirkungen unterschiedlicher Instruktionen. Die Experimente dieser Arbeit sollen einen weiteren Beitrag auf dem Weg zu einem besseren Verständnis der intuitiven Physik und deren Implikationen leisten.

2.1.11 Fragestellungen

Aus dem bisher Dargestellten ergeben sich einige Fragestellungen, denen in der vorliegenden Arbeit weiter nachgegangen werden sollte. Zunächst interessierte, ob und auf welche Weise sich ein Misskonzept beim Versuch, ein bewegtes Objekt abzulenken, in experimentellen Situationen zeigt. Es wurde weiter untersucht, ob Auswirkungen des Misskonzepts in Abhängigkeit des Winkels stehen, in welchem ein Objekt abgelenkt werden muss. Im Weiteren interessierte, ob und inwiefern Effekte des Misskonzepts durch unterschiedliche Instruktionen beeinflusst werden.

Weitere Fragen betrafen den Einfluss spezifischer Erfahrung in der Ablenkung bewegter Objekte auf Versuche zur physikalischen Impulsintegration. Wie unter Abschnitt 2.1.6 dargestellt, sind die Befunde hierzu uneinheitlich und von den unterschiedlichen Aufgabenstellungen geprägt. Das Interesse lag einerseits auf dem generellen Einfluss selbstberichteter Ballerfahrung auf das Abschneiden in einem Laborexperiment zur Impulsintegration. Andererseits sollten erstmals Experten der Ballablenkung in einer natürlichen Umgebung in experimenteller Weise erforscht werden. Dafür wurden Fußballspieler verschiedener Stärkeklassen auf dem Fußballfeld im Hinblick auf ihre Fähigkeit, Bälle auf vorgegebene Ziele abzulenken, untersucht. Es interessierte dabei jeweils, ob das von Daum et al. (2008) beschriebene Misskonzept auch in experimentellen Situationen auftritt und ob eine Abhängigkeit vom Expertisegrad der Teilnehmenden auch in einer natürlichen Situation besteht.

3 Methodik

Zahlreiche Studien wiesen ein Misskonzept hinsichtlich der Ablenkung sich bewegender Objekte sowohl in der Beurteilung als auch in der tatsächlichen Handlung nach (Daum et al., 2008; DiSessa, 1982; McCloskey, 1983; McCloskey & Kohl, 1983; Mohr, 2001; White, 1984). In der vorliegenden Untersuchung sollte diesem Phänomen in konkreten Handlungsaufgaben weiter nachgegangen werden.

Die Untersuchung bestand aus Handlungsaufgaben und beinhaltete zwei parallele Versuchsreihen: Die erste bestand aus Laborexperimenten, bei welchen die Teilnehmenden über eine Tischplatte rollende Golfbälle mittels eines *Kraftstosses*⁷ auf drei verschiedene Ziele ablenken mussten. Die zweite Versuchsreihe bestand aus Experimenten, die auf regulären Fussballfeldern durchgeführt wurden. Mittels einer Ballmaschine ausgeführte Flankenbälle mussten von Fussballspielern durch Kopfstoss auf Ziele im Tor abgelenkt werden. Die Experimente waren so angeordnet, dass die Bälle jeweils in einem spitzen, einem rechten und einem stumpfen Winkel abgelenkt werden mussten, um die Ziele zu treffen. Der Winkel wurde variiert, da das naive Konzept in der Analyse von Daum et al. (2008) auch dann auftrat, wenn ein Spieler bei der Kopfabnahme bereits hinter der weiten Seite des Tores positioniert war und der Ball für eine erfolgreiche Ablenkung zwingend einen spitzwinkligen Verlauf hätte nehmen müssen. Ausserdem wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass die Wahrnehmung in Abhängigkeit verschiedener Winkel verzerrt sein kann (siehe Abschnitt 2.1.10) und in der Literatur starke Lerneffekte des ersten Durchgangs berichtet werden (Krist et al., 1993; Mohr, 2001).

3.1 Definitionen

Um Verwechslungen und Unsicherheit zu vermeiden, sollen an dieser Stelle einige Definitionsfragen geklärt werden. In dieser Arbeit ist in verschiedenem Zusammenhang von Winkeln die Rede. Unterschieden wird dabei zwischen dem Zielwinkel, dem Anlaufwinkel und dem Startwinkel. Mit *Zielwinkel* sind jeweils die

⁷ Kraftstoss bezeichnet die durch das zeitliche Einwirken einer Kraft auf einen Körper hervorgerufene Impulsänderung.

Winkel gemeint, in welchen die unterschiedlichen Ziele lagen und auf welche die Bälle abgelenkt werden sollten. Unter *Anlaufwinkel* wird in dieser Arbeit der Winkel verstanden, in welchem ein Ball auf einen Teilnehmenden zukam, *bevor* er abgelenkt werden musste. Mit *Startwinkel* schliesslich ist der Winkel gemeint, in welchem die Teilnehmer ihren allerersten Versuch abzugeben hatten. Musste ein Teilnehmer die erste Ablenkung auf ein Ziel in einem rechten Winkel (Zielwinkel) vollführen, entsprach dieser gleichzeitig auch dem Startwinkel.

3.2 Laborexperimente

3.2.1 Verwendete Instrumente und Verfahren

Die Versuchsanordnung bestand aus einer 1,5 Meter breiten und 2 Meter langen Tischplatte. Auf einer Breitseite wurde eine mobile Rampe mit einem Neigungswinkel von 35° installiert, über welche Golfbälle mit einer konstanten Geschwindigkeit auf die Tischplatte gerollt werden konnten. Die Rampe konnte so verschoben werden, dass der Ball aus Sicht der Teilnehmenden und bezogen auf das Ziel, welches sich exakt gegenüber dem Akteur befand, entweder aus einem spitzen, einem rechten oder einem stumpfen Anlaufwinkel angerollt kam. Das Ziel bestand aus einem Fussballtor in Miniaturformat mit einer Länge von zehn Zentimetern und war so konzipiert, dass der Golfball bei einem Treffer nicht mehr herausrollen konnte. Auf einer Längsseite der Tischplatte wurde ein Schläger montiert, welcher an einer starken Feder befestigt war. Diese Befestigung sollte sicherstellen, dass die Bälle von allen Teilnehmern von einer ähnlichen Stelle aus abgelenkt wurden und die Stosskraft begrenzt wurde. Mohr (2001) berichtete von einem starken Effekt des ersten Versuchs (siehe auch Krist et al., 1993). In seinen Untersuchungen wurde der grösste Fehler jeweils im ersten Durchgang gemessen, danach nahm er relativ schnell ab, d.h. die Leistung nahm zu. Dieses Phänomen konnte auch in den Vorversuchen zu den vorliegenden Experimenten beobachtet werden. Es schien vorwiegend auf der Tatsache zu beruhen, dass die Teilnehmenden vom Fehler ihres ersten Versuchs überrascht wurden und in den folgenden Durchgängen den Ball mit ungleich grösserer Kraft abzulenken versuchten, welche die Impulskraft des Balles bei weitem übertraf. Hinweise auf Auftreten und Stärke des naiven Konzepts waren auf diese Weise praktisch nur beim allerersten Versuch möglich, und auch

potentielle Lerneffekte liessen sich auf diese Weise kaum feststellen. Um das naive Konzept genauer untersuchen und auch potentielle Entwicklungsverläufe aufzeigen zu können, sollten diese Einschränkungen in den vorliegenden Versuchen behoben werden. Der befestigte Schläger war in alle Richtungen beweglich und gab den Teilnehmenden trotz der Begrenzung der Stosskraft durch die Federbefestigung die Möglichkeit, den Eigenimpuls des zu schlagenden Balles durch Anpassung des Stosswinkels oder aber der Stosskraft zu kompensieren. Durch die verschiedenen Anlaufwinkel mussten die Teilnehmenden den Ball entsprechend in einem spitzen (35°), einem rechten (90°) oder einem stumpfen Winkel (145°) ablenken, um das Ziel zu treffen (Abbildung 3). An den Seiten der Tischplatte waren Banden befestigt, um das Wegrollen des Balles nach jedem Stoss zu verhindern.

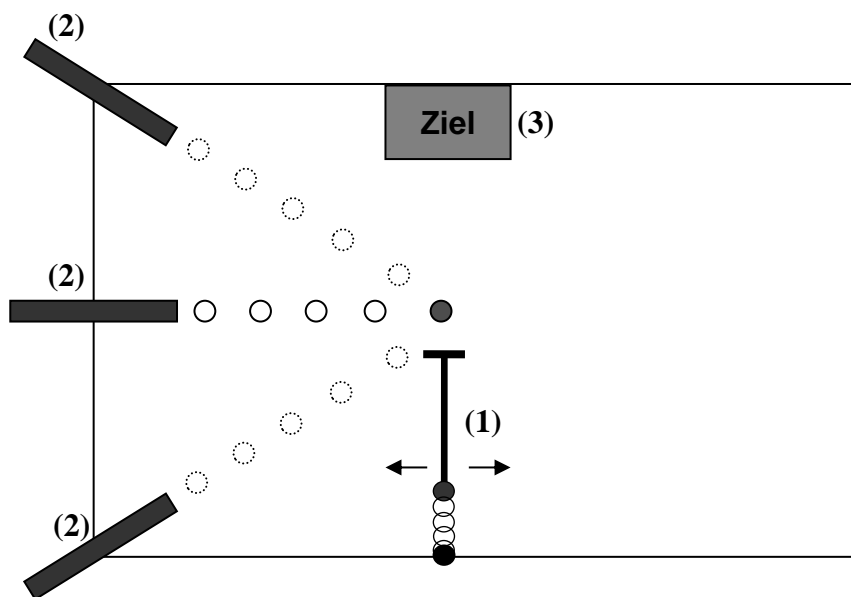


Abbildung 3 Schematische Darstellung der Versuchsanlage in Experiment 1, Sicht von oben. Mittels eines beweglichen Schlägers (1) musste ein rollender Golfball auf das Ziel (3) abgelenkt werden. Der Ball rollte über eine Rampe (2) entweder aus spitzem, rechtem, oder stumpfem Anlaufwinkel in Richtung des Schlägers. Um das Ziel (3), welches den Teilnehmenden genau gegenüber stand, zu treffen, mussten die Bälle je nach Anlaufwinkel so gestossen werden, dass sie in einem Winkel von 35° , 90° oder 145° abgelenkt wurden.

3.2.2 Experiment 1

In Experiment 1 sollte untersucht werden, ob das von verschiedenen Autoren (Daum et al., 2008; DiSessa, 1982; Mohr, 2001; White, 1984) beobachtete Misskonzept, dass Menschen bei der Integration von Kräften bewegter Objekte anscheinend nur den letzten Impuls berücksichtigen, auch in einer solchen experimentellen Situation auftritt. Dies würde sich dadurch äussern, dass die Teilnehmenden die Bälle in einem zu grossen Winkel ablenken, das Ziel also auf der weiten, der dem Ursprungspunkt des Balles abgewandten Seite, verfehlen. Neu an diesem Experiment war die systematische Variation des Anlaufwinkels, wodurch das Ziel in unterschiedlichen Winkeln angespielt werden musste, was Rückschlüsse über einen möglichen Zusammenhang zwischen diesem naiven Konzept und unterschiedlichen Ablenkungswinkeln zulies.

3.2.2.1 Versuchsablauf

Vor dem eigentlichen Versuch wurde die Ballerfahrung jeder Versuchsperson auf einer dreistufigen Skala (1 = keine, 2 = mittel, 3 = gross) erfragt. Konkret ging es darum, zu ermitteln, ob die Personen Erfahrung im Ablenken sich bewegender Objekte haben – eine Fertigkeit, welche in vielen Ballsportarten erworben werden kann. Diese Information diente dazu, Zusammenhänge zwischen der Leistung im Versuch und der Handlungserfahrung des Ablenkens sich bewegender Bälle aufzuzeigen. *Keine* Ballerfahrung bedeutete, dass (neben dem obligatorischen Schulsport) keinerlei Erfahrung in Ballsportarten vorhanden war. *Mittlere* Ballerfahrung sollte angeben, wer (zumindest in der Jugend) mindestens eine Ballsportart neben der Schule ausgeübt hatte. Als *hoch* oder *sehr* ballerfahren galten entsprechend Hobbysportler, welche zumindest über einige Jahre hinweg regelmässig eine Ballsportart betrieben hatten oder noch immer betreiben. Der Winkel, mit welchem die Teilnehmenden beginnen mussten, wurde systematisch variiert (*Startwinkel*).

Das Experiment wurde für jede Versuchsperson einzeln durchgeführt. Die Teilnehmenden mussten insgesamt neun Bälle auf das ihnen gegenüberliegende Ziel ablenken: Drei Bälle aus spitzem Anlaufwinkel, drei aus einem rechten Winkel und drei aus einem stumpfen Winkel. Der Winkel, mit welchem die Teilnehmenden

beginnen mussten, wurde systematisch variiert (*Startwinkel*). Nach jeweils drei Bällen wurde die Rampe verschoben und damit der Anlaufwinkel verändert. Obwohl das zu treffende Ziel für die Versuchsteilnehmer also immer ‚geradeaus‘ lag, mussten die Bälle aufgrund des variierten Anlaufwinkels in drei unterschiedlichen Winkeln abgelenkt werden, um das Ziel zu treffen. Der Versuch dauerte etwa fünf Minuten und wurde für die spätere Auswertung mit einer Videokamera aufgezeichnet. Gemessen wurde, wo und in welchem Abstand die abgelenkten Bälle das Ziel verfehlten. Die Bande hinter dem Tor war mit einem Zentimetermass versehen, über welches in der Video-Aufzeichnung abgelesen werden konnte, um wie viele Zentimeter ein Ball das Ziel verfehlt hatte.

3.2.2.2 Teilnehmer Experiment 1

An Experiment 1 nahmen insgesamt 64 Personen teil (27 weiblich und 37 männlich). Die Teilnehmer waren Studentinnen und Studenten verschiedener Fachrichtungen der Universität Zürich; sie wurden rekrutiert, indem sie in der Eingangshalle des Psychologischen Instituts der Universität Zürich angesprochen und um die Teilnahme gebeten wurden.

3.2.2.3 Resultate Experiment 1

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass sich bei vielen Ablenkungen auf ein Ziel eine Gleichverteilung dieser Stösse zeigt. Stösse, die das Ziel verfehlen, müssten auf beiden Seiten des Ziels etwa in gleicher Anzahl vorkommen. Das Auftreten des beschriebenen naiven Konzepts konnte mittels zweiseitigem T-Test gegen den Testwert 0 untersucht werden. Es zeigte sich ein starker Effekt in die erwartete Richtung: Die Bälle verfehlten das Ziel auf der weiten Seite, wurden also in einem (zu) stumpfen Winkel abgelenkt. Dieser hochsignifikante Effekt wurde für alle Winkel gefunden: Spitzer Winkel $t(11) = 10.96, p < .001$, rechter Winkel $t(11) = 10.75, p < .001$ und stumpfer Winkel $t(11) = 5.80, p < .001$.

Dieses grundsätzliche Ergebnis, dass die Bälle in einem zu stumpfen Winkel abgelenkt wurden, galt nicht nur für die gemittelten Fehlerwerte aller Stösse, sondern für jeden einzelnen Anlaufwinkel und für jeden Stoss. Bei keinem Anlaufwinkel wurde das Ziel auf der nahen Seite verfehlt. Um dies genauer zu

untersuchen, wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit Anlaufwinkel (3) als Innersubjektfaktor und Ballerfahrung (3), Geschlecht und Startwinkel (3) als Zwischensubjektfaktoren gerechnet. Die in den Grafiken dargestellten mittleren Fehlerwerte entsprechen gleichzeitig einer Richtung: Plus-Werte spiegeln Fehler auf der weiten Seite des Ziels wider, läge das Mittel der Fehler auf der nahen Seite des Ziels, würde dies entsprechend in Minus-Werten angegeben. Traf der Ball exakt ins Ziel, wurde die Distanz entsprechend mit Null codiert.

Es ergab sich ein signifikanter Effekt für den Faktor *Winkel* ($F(2, 122) = 6.41, p < .01, \eta^2 = .1$). Die verschiedenen Anlaufwinkel übten also einen Einfluss auf die Grösse des Misskonzepts aus, was sich in unterschiedlich grossen Abweichungen zum Ziel in Abhängigkeit des Anlaufwinkels bemerkbar machte. Tatsächlich zeigen die Resultate, dass kleinere Ablenkungswinkel grössere Fehler erzeugten (Abbildung 4). Beim spitzen Winkel verfehlten die Teilnehmer das Ziel im Durchschnitt um knapp 13 cm, beim rechten Winkel um 12 cm und beim stumpfen Winkel um 7 cm. Die Bälle verfehlten das Tor auf der entfernten Seite in umso grösserem Ausmass, je kleiner der Winkel war, in welchem der Ball abgelenkt werden sollte. Kam der Ball aus einem stumpfen Anlaufwinkel und musste somit in einem grossen Winkel abgelenkt werden, war der Fehler entsprechend kleiner. Dieses Resultat wurde nicht erwartet, da aufgrund der Untersuchungen und Interpretationen von Daum et al. (2008) eher davon ausgegangen werden musste, dass das Misskonzept in umso grösserem Masse auftritt, je grösser der Winkel zur Ablenkung ist.

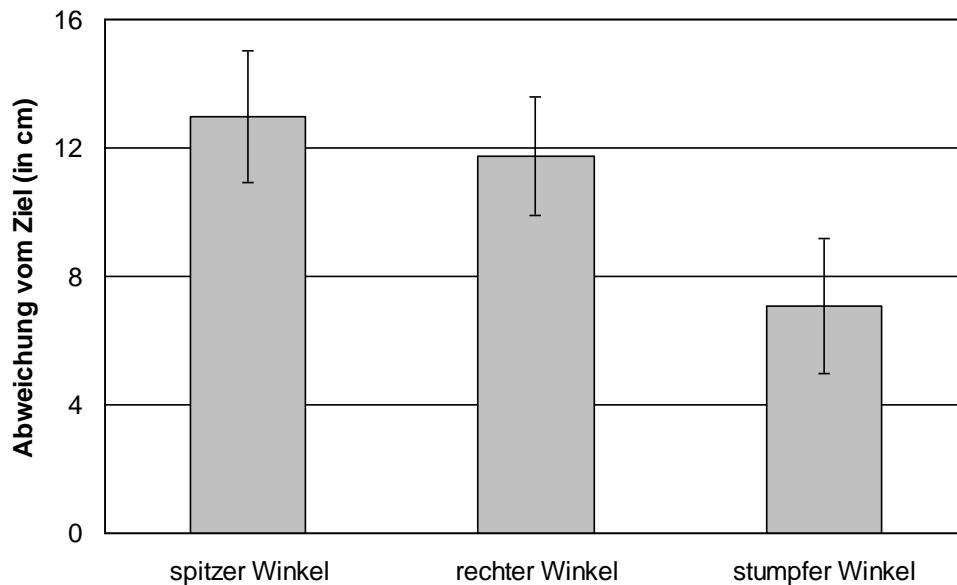


Abbildung 4 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Winkel. Je kleiner der Anlaufwinkel, desto grösser der gemessene Fehler.

Die Ballerfahrung der Teilnehmenden (siehe unter 3.2.2.1) ergab einen signifikanten Effekt ($F(2, 61) = 4.09, p < .05, \eta^2 = .12$). Aus dem Post-hoc-Test (Fisher LSD) geht hervor, dass sich die Teilnehmer mit der Ballerfahrung 2 (*mittel*) und 3 (*hoch*) nicht unterscheiden; beide heben sich jedoch signifikant von der Ballerfahrung 1 (*keine*) ab. Probanden, welche angaben, gar keine Erfahrung zu besitzen, zeigten deutlich schwächere Leistungen als solche mit mittlerer oder grosser Erfahrung, deren Werte sich auf nahezu demselben Niveau befanden. Ballerfahrene Teilnehmer waren den Unerfahrenen gegenüber im Vorteil, wobei hier die Erfahrung an sich bedeutend war und nicht deren Ausmass.

Es zeigte sich ein Geschlechtseffekt zugunsten der männlichen Versuchsteilnehmer ($F(1, 58) = 16.53, p < .001, \eta^2 = .22$). Männliche Probanden verfehlten das Ziel auf der weiten Seite im Schnitt um 8 cm, weibliche Teilnehmer um rund 14.5 cm. Das naive Konzept trat bei beiden Geschlechtern jedoch eindeutig hervor (Frauen: spitzer Winkel, $t(11) = 8.61, p < .001$; rechter Winkel, $t(11) = 7.67, p < .001$; stumpfer Winkel $t(11) = 6.37, p < .001$. Männer: spitzer Winkel, $t(11) = 7.17, p < .001$; rechter Winkel, $t(11) = 7.76, p < .001$; stumpfer Winkel, $t(11) = 2.15, p < .05$). Da Frauen und Männer in Bezug auf den Innersubjektfaktor Winkel fast identische Muster aufwiesen (wenn auch Frauen auf einem tieferen Niveau),

wurde für die weiteren Analysen daher nicht nach der Geschlechtszugehörigkeit differenziert.

Die Reihenfolge des Anlaufwinkels wurde dreifach variiert und damit auch, ob die Teilnehmenden den Ball im initialen Versuch in einem stumpfen, rechten oder einem spitzen Winkel abzulenken hatten. Als Zwischensubjektfaktor wurde dieser *Startwinkel* nicht signifikant ($F(2, 58) = 2.25, ns, \eta^2 = .07$), der Post-hoc-Test (Fisher LSD) gibt eine signifikante Differenz nur zwischen den Startwinkeln *recht* und *stumpf* an. In Abbildung 5 lässt sich jedoch ein Trend dahingehend erkennen, dass Probanden, die mit einem rechten Winkel begonnen hatten, über alle Durchgänge im Schnitt erfolgreicher abschnitten als solche, welche mit einem stumpfen oder spitzen Winkel gestartet waren.

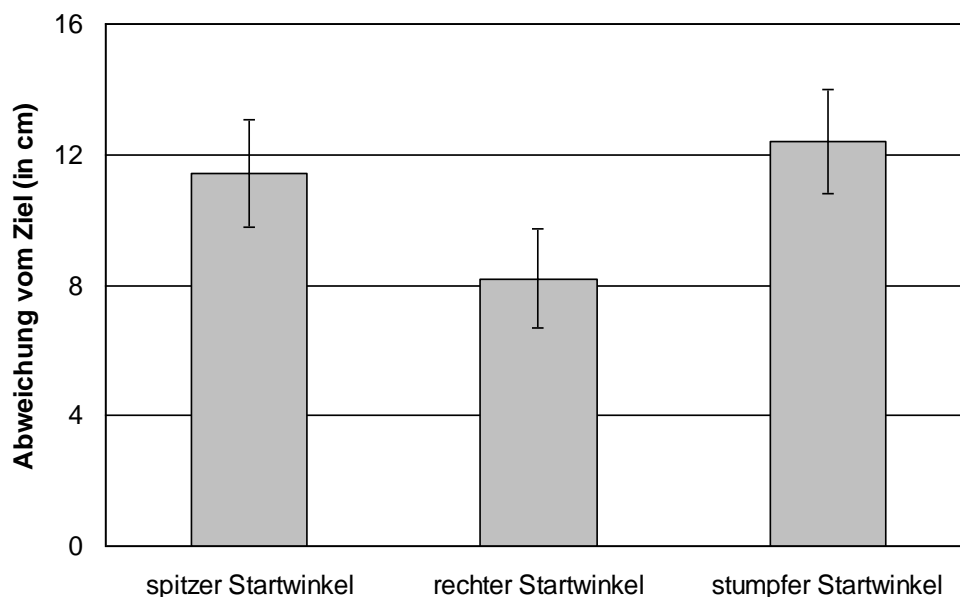


Abbildung 5 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Startwinkel. Dargestellt sind Fehlerwerte über alle Winkel.

Die Interaktion von Winkel und Durchgang war signifikant ($F(4, 232) = 3.21, p = .014, \eta^2 = .05$). Zur Erinnerung: Auf das Ziel mussten jeweils drei Bälle aus drei unterschiedlichen Winkeln abgelenkt werden. In der Grafik (Abbildung 6) zeigt sich, dass bei Ablenkungen auf das Ziel im spitzen Winkel im Durchschnitt die grösste Abweichung auftrat, bei Ablenkungen im stumpfen Winkel die kleinste. Der Faktor Durchgang zeigte für Ablenkungen im rechten Winkel einen signifikanten Effekt ($F(2, 126) = 3.94, p = .022, \eta^2 = .06$), für Ablenkungen in

spitzem ($F(2, 126) = .82, ns, \eta^2 = .01$) und stumpfem Winkel ($F(2, 126) = .01, ns, \eta^2 = .00$) jedoch nicht.

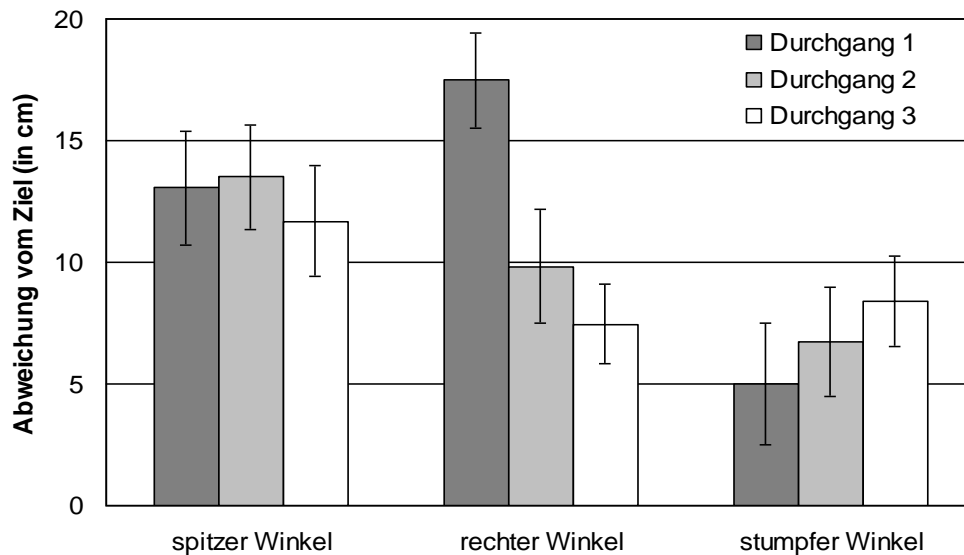


Abbildung 6 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Winkel und über die drei Durchgänge. Ein Lerneffekt zeigte sich ausschliesslich für Ablenkungen im rechten Winkel.

3.2.2.4 Diskussion Experiment 1

Mit diesem ersten Experiment sollte getestet werden, ob das von verschiedenen Autoren (Daum et al., 2008; DiSessa, 1982; McCloskey, 1983; McCloskey & Kohl, 1983; Mohr, 2001; White, 1984) beschriebene und als Misskonzept bezeichnete Phänomen auch unter kontrollierten Laborbedingungen auftritt. Die Ergebnisse in Experiment 1 bestätigen ein eindeutiges, stabiles Misskonzept. Über einen Tisch rollende Bälle aus verschiedenen Winkeln wurden beständig in einem zu grossen Winkel abgelenkt, so dass die Bälle das Ziel auf der weiten Seite verfehlten.

Aufgrund der Daten lassen sich einige Aussagen formulieren. Der erste Stoss auf den rechten Winkel führte zu der grössten Abweichung. Allerdings trat auch ein signifikanter Lerneffekt ausschliesslich bei diesem Winkel auf. Über die drei Durchgänge nahm der Fehler markant ab und reduzierte sich von mehr als 17 cm auf knapp 7 cm. Beim spitzen Winkel veränderte sich die Leistung über die drei Durchgänge kaum, beim stumpfen Winkel, auf welchen der erste Versuch

einen nur kleinen Fehler erzeugte, schien der Fehlerwert sogar analog der Anzahl Stösse anzusteigen. Zudem wird aus Abbildung 6 auch ersichtlich, dass der Fehler umso grösser ausfiel, je kleiner der Winkel war, um welchen der Ball abgelenkt werden sollte.

Der Lernfortschritt scheint vom Ausmass des Fehlers im Initialversuch abhängig zu sein und könnte mit der kognitiven Verarbeitung in Verbindung stehen. Möglicherweise bildet sich aufgrund des allerersten Ablenkungsversuchs eine mentale Repräsentation, welche einer Art von Kalibrierung gleichkommt und auf welche in den weiteren Durchgängen zurückgegriffen wird. Nach einer als gescheitert interpretierten Aufgabe könnten Prozesse in Gang gesetzt werden, welche das eigene Verhalten analysieren und mögliche Gegenstrategien entwickeln. Dies würde sich dann in einer verbesserten Leistung im nachfolgenden Versuch niederschlagen. Bei einem kleinen Fehler treten solche Prozesse nicht in den Vordergrund, ein Lernfortschritt aufgrund negativen Feedbacks würde dementsprechend nicht eintreten. Ist also die Differenz zum Ziel im ersten Versuch gross, so bildet sich ein stärkerer Lerneffekt aus als bei einem kleinen Fehler. Da dieser Effekt aufgrund der ersten Rückmeldung zu entstehen scheint, kann er als *Prinzip des ersten Feedbacks* bezeichnet werden.

Ein weiterer interessanter Aspekt trat im Zusammenhang mit der Variation des Anlaufwinkels auf. Das naive Konzept manifestierte sich in allen Winkeln, allerdings in unterschiedlichem Ausmass. Der Fehler wurde kleiner, je grösser der Winkel war, um den der Ball abgelenkt werden musste. Der kleinste mittlere Fehler über die neun Stösse trat beim stumpfen Winkel auf. Beim rechten Winkel hingegen war der Fehler im ersten Versuch stark ausgeprägt, der Lerneffekt jedoch augenfällig: Die Teilnehmenden verbesserten sich nach jeder Ablenkung auf den rechten Winkel, der Faktor Durchgang wurde signifikant. Bei Ablenkungen in spitzem und stumpfem Winkel zeigte sich über die Durchgänge hingegen keine Veränderung der Leistung. Wichtig scheint auch die Erfahrung im Umgang mit Bällen zu sein. Teilnehmende, welche sich als ballerfahren einschätzten, schnitten signifikant besser ab als Teilnehmende ohne entsprechende Erfahrung.

3.2.3 Experiment 2

Die Resultate aus Experiment 1 bestätigen frühere Befunde bezüglich der Ablenkung bewegter Objekte (z.B. Daum et al., 2008; DiSessa, 1982; McCloskey, 1983; McCloskey & Kohl, 1983; Mohr, 2001; White, 1984). Daneben demonstrieren die Ergebnisse einen Einfluss des Anlaufwinkels auf die Ablenkung bzw. die Grösse des Misskonzepts sowie einen Lerneffekt, der jedoch nur bei Stössen auf den rechten Winkel auftritt. Experiment 2 trug diesen Überlegungen Rechnung.

3.2.3.1 Zeitdruck

Daum et al. (2008) weisen in der Interpretation ihrer Befunde explizit auf die Möglichkeit des *Choking under pressure* sowie dessen potentielle Erklärungsmöglichkeiten hin (siehe Abschnitte 2.1.7 und 2.1.8). Demnach könnte das Empfinden von Stress (z.B. aufgrund geringer Zeitressourcen oder der Erwartungshaltung von Zuschauern, Trainern usw.) die Leistung der Experten in Richtung des Misskonzepts verzerrt haben. In der Literatur finden sich keine Studien, welche den Zusammenhang von intuitiver Physik und Implikationen des *Choking under pressure* untersuchen. Jedoch können selbst die ballerfahrensten Teilnehmer der Laborversuche nicht mit fussballspielenden ‚Experten‘ einer Weltmeisterschaft verglichen werden. Im Gegensatz zu Kopfabnahmen für Fussballer entsprachen die Aufgaben in den Laborversuchen für die Teilnehmenden nicht einer natürlichen und gewohnten Situation. Dennoch wurde in Experiment 2 die Bedingung *Zeitdruck* eingeführt, um den Überlegungen aus Abschnitt 2.1.8 über eine mögliche Fokussierung der Teilnehmenden auf den Bewegungsablauf Rechnung zu tragen. Dieses Fokussieren sollte durch zeitlichen Druck unterbunden werden. Während in der Bedingung *ohne Zeitdruck* die Bälle weiterhin einzeln abgelenkt wurden, mussten in der Bedingung *mit Zeitdruck* jeweils drei Bälle in kurzem zeitlichem Abstand auf Ziele in unterschiedlichen Winkeln abgelenkt werden.

In Anlehnung an die unter 2.1.6 beschriebenen Interaktionen von Instruktion und Erfahrung sowie dem Zusammenhang mit der Art dieser Instruktionen und der Leistung lag ein weiteres Augenmerk auf der Frage, ob das in Experiment 1

beschriebene naive Konzept durch einfache Instruktionen minimiert oder gar eliminiert werden kann. Bezüglich möglicher Lerneffekte liefern die Ergebnisse aus Experiment 1 kein einheitliches Bild. Für den rechten Winkel traten Lerneffekte auf, während dies für die anderen Winkel nicht zutraf. Um potentielle Lernverläufe genauer untersuchen zu können, wurden für Experiment 2 mehr Versuchsdurchgänge eingeplant.

3.2.3.2 Instruktion

Im Unterschied zum ersten Experiment erhielten Teilnehmende in Experiment 2 vor der Ausführung der Aufgabe Informationen in Form einer impliziten oder einer expliziten Instruktion. Die implizite Instruktion bestand aus einer Video-Aufzeichnung, auf welcher erfolgreiche und erfolglose Ballablenkungen in ebendieser Übung zu sehen waren. Bei den erfolglosen Ablenkungen richtete die Person den Kraftstoss jeweils direkt auf das Ziel, worauf der von der Seite kommende Ball das Ziel auf der weiten Seite verfehlte. Bei den erfolgreichen Ablenkungen wurde anhand der offensichtlichen Bewegung des Akteurs sichtbar, wie er eine *Winkelkompensation* ausführt, also mit dem Schläger nicht geradeaus auf das Tor zielt, sondern den Kraftstoss in Richtung eines kleineren Winkels ausrichtet. Auf diese Weise wird der Impuls des rollenden Balles kompensiert und der Ball landet im Ziel (siehe Abbildung 1). Zu sehen waren jeweils zunächst zwei erfolglose und anschliessend zwei erfolgreiche Ablenkungen. Die *explizite* Instruktion bestand aus einer formalen Darlegung der physikalischen Grundlagen der Ballablenkung mittels Grafiken wie in Abbildung 1 und folgender mündlicher Erklärung: „Wenn von einer Seite her ein Ball rollt und auf diesen mit einer Kraft eingewirkt wird, ergibt sich die resultierende Richtung aus der Addition der beiden Kräfte des Balles und der Ablenkung. Dies, weil ein sich bewegendes Ball bereits einen Impuls, eine Kraft, mitbringt. Wenn nun die resultierende Kraft in Richtung des Tores gehen soll, muss die einwirkende Kraft dem Impuls des Balles Rechnung tragen und entsprechend in eine Richtung wirken, die dem virtuellen Ziel entspricht“ (analog Abbildung 1 B).

Beide Instruktionen dauerten 30 Sekunden, eine Kontrollgruppe führte den Versuch ohne Instruktion durch.

3.2.3.3 Versuchsablauf

Wie in Experiment 1 wurde auch in Experiment 2 vor dem eigentlichen Versuch die Ballerfahrung jeder Versuchsperson auf einer dreistufigen Skala (1 = keine, 2 = mittel, 3 = gross) erhoben. Das Experiment wurde mit jedem Teilnehmer einzeln durchgeführt. Der Neigungswinkel der Rampe, über welche der Ball auf die Tischplatte rollte, wurde in Experiment 2 um zehn Grad reduziert, sodass der Ball weniger Geschwindigkeit aufnahm und somit langsamer war als in Experiment 1. Damit sollte sichergestellt werden, dass die Teilnehmenden nicht von der Geschwindigkeit des Balles überrascht werden, zu spät reagieren und die abgelenkten Bälle das Ziel allein deshalb auf der weiten Seite verfehlen. Im Unterschied zu Experiment 1 wurden die Winkel nun nicht mehr mittels verschiedener Anlaufspuren (*Anlaufwinkel*) variiert. Die Winkel, in welchen die Bälle abgelenkt werden mussten, waren dieselben wie in Experiment 1. Der Unterschied bestand lediglich darin, dass die Variation der *Zielwinkel* nun nicht mehr durch die Verschiebung des *Anlaufwinkels* erreicht wurde. Stattdessen wurden auf der Tischplatte drei verschiedene Ziele angebracht: Eines in einem spitzen Winkel (35°), eines genau gegenüber der Versuchsperson, also in einem rechten Winkel, sowie eines in einem stumpfen Winkel (145°). Der *Anlaufwinkel* betrug nun immer 90° (Abbildung 7). Dies sollte jenen Überlegungen Rechnung tragen, wonach *Anlaufwinkel* und *Zielwinkel*, obwohl physikalisch gleichwertig, von den Versuchsteilnehmern unterschiedlich wahrgenommen werden und dementsprechend Auswirkungen auf die Resultate haben könnten. Auf diese Weise konnte auch sichergestellt werden, dass ein Teilnehmer niemals zwei Ablenkungen hintereinander auf denselben Winkel auszuführen hatte, was kurzfristige Lerneffekte verhindern sollte. Auf jedes der drei Ziele sollte drei Mal gestossen werden, einmal unter Zeitdruck und einmal ohne Zeitdruck, hinzu kam eine Messwiederholung, in welcher die Teilnehmenden dieselben Stösse, jedoch in anderer Reihenfolge und mit umgekehrter Zeitbedingung auszuführen hatten (musste eine Versuchsperson den Versuch z.B. unter Zeitdruck beginnen, wurde bei der Messwiederholung der Zeitdruck erst als zweite Bedingung dargeboten). Der Winkel, in welchen die Teilnehmenden den Ball zuerst ablenken mussten (*Startwinkel*), die Reihenfolge der Winkel wie auch die Zeitbedingung wurden systematisch variiert. In der Bedingung *ohne Zeitdruck* mussten die Bälle weiterhin

einzelnen abgelenkt werden. Der Versuchsleiter gab jeweils im Voraus, noch bevor der Ball auf der Rampe in Bewegung gesetzt wurde, das zu treffende Ziel (in stumpfem, rechtem oder spitzem Winkel) bekannt. In der Bedingung *unter Zeitdruck* hingegen gab der Versuchsleiter jeweils im Voraus die nächsten drei Ziele bekannt. In dieser Bedingung rollten entsprechend drei Bälle in kurzem zeitlichem Abstand von 0,5 Sekunden auf die Teilnehmenden zu. Nach drei Bällen, welche jeweils auf die drei Ziele in unterschiedlichen Winkeln abgelenkt werden mussten, wurde eine zwanzig Sekunden dauernde Pause gewährt, bevor die nächsten drei Stöße getätigt werden mussten.

Insgesamt musste so jede Versuchsperson 36 Bälle ablenken (3 Stöße, 3 Winkel, 2 Zeitbedingungen, Messwiederholung). Der Versuch dauerte insgesamt 15 Minuten und wurde für die spätere Auswertung mit einer Videokamera aufgezeichnet. Gemessen wurde wiederum, ob, wo und in welchem Abstand die abgelenkten Bälle das Ziel verfehlten.

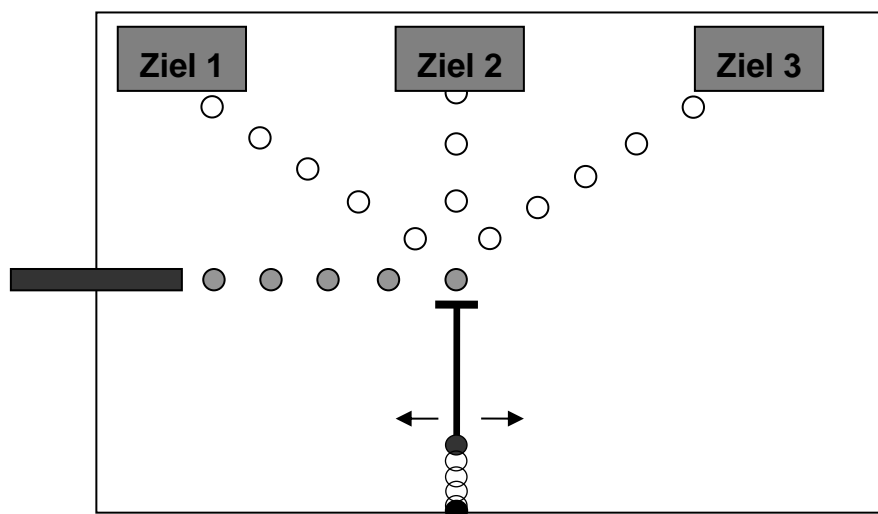


Abbildung 7 Schematische Darstellung der Versuchsanlage in Experiment 2, Sicht von oben. Mittels eines beweglichen Schlägers musste ein rollender Golfball auf eines von drei Zielen abgelenkt werden. Das Ziel lag entweder in einem spitzen (35°), rechten (90°), oder stumpfen Winkel (145°).

3.2.3.4 Teilnehmer Experiment 2

An Experiment 2 nahmen insgesamt 72 Personen teil (38 weiblich, 34 männlich). Teilgenommen haben Studierende verschiedener Fachrichtungen der Universität Zürich (Durchschnittsalter 28;5 Jahre), welche mittels öffentlicher Ausschreibung rekrutiert wurden.

3.2.3.5 Resultate Experiment 2

Auch in Experiment 2 manifestierte sich das Misskonzept: Die Bälle wurden in einem zu grossen Winkel abgelenkt und verfehlten das Ziel auf der weiten Seite. Wieder zeigte sich im zweiseitigen T-Test (gegen 0) ein hochsignifikanter Effekt für alle Winkel (spitzer Winkel, $t(11) = 9.3$, $p < .001$; rechter Winkel, $t(11) = 9.75$, $p < .001$; stumpfer Winkel, $t(11) = 12.25$, $p < .001$). Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit (Ziel-)Winkel (3), Durchgang (3) und Zeitdruck (2) als Innersubjektfaktoren und Ballerfahrung (3), Geschlecht (2) und Startwinkel (3) als Zwischensubjektfaktoren sollte Aufschluss über weitere Zusammenhänge geben.

Das Ausmass des Misskonzepts war auch in Experiment 2 abhängig vom Winkel, in welchem die Bälle abgelenkt werden mussten ($F(2, 146) = 29.1$, $p < .001$, $\eta^2 = .29$). Im Unterschied zu Experiment 1 nahm der Fehler nicht mehr zu, je kleiner der Winkel war, in welchem es den Ball abzulenken galt. Es zeigte sich vielmehr ein Vorteil des rechten Winkels. Betrug der Fehler beim spitzen und stumpfen Winkel rund 11 bzw. 13 cm, so ergab sich beim rechten Winkel ein Fehler von nur noch 4 cm. Musste der Ball in rechtem Winkel, also in das Ziel direkt gegenüber der Versuchsperson, abgelenkt werden, schien dies den Teilnehmenden, im Vergleich zu den beiden anderen Winkeln und über alle Instruktionsgruppen, entschieden einfacher zu fallen (Abbildung 8).

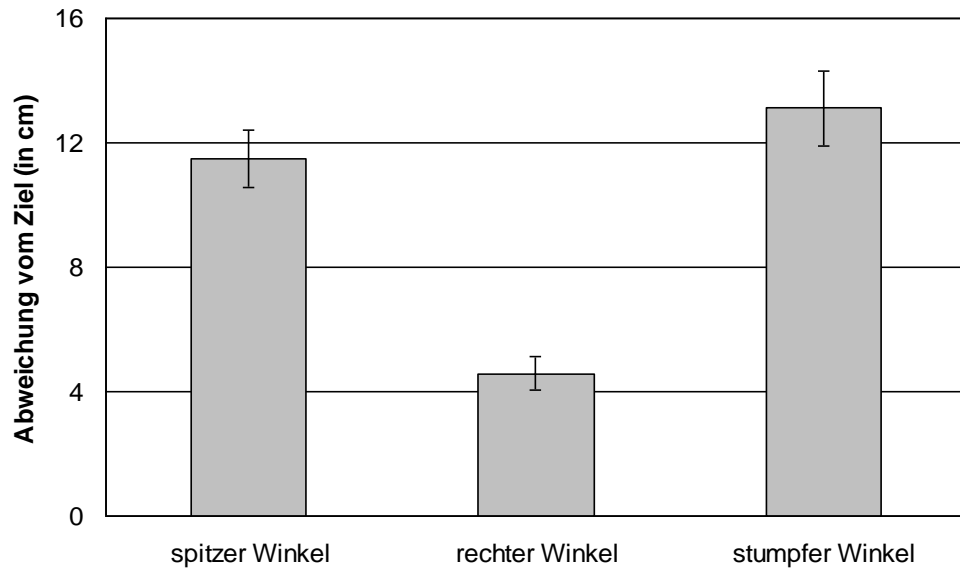


Abbildung 8 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Winkeln. Der kleinste mittlere Fehler tritt beim rechten Winkel auf.

Erneut offenbarte sich ein Geschlechtseffekt zugunsten der männlichen Versuchsteilnehmer ($F(1, 64) = 17.49, p < .001, \eta^2 = .22$). Da jedoch sowohl Frauen (spitzer Winkel, $t(11) = 17.0, p < .001$; rechter Winkel, $t(11) = 12.14, p < .001$; stumpfer Winkel $t(11) = 15.43, p < .001$) als auch Männer (spitzer Winkel, $t(11) = 14.44, p < .001$; rechter Winkel, $t(11) = 6.56, p < .001$; stumpfer Winkel, $t(11) = 8.36, p < .05$) Abweichungen in dieselbe Richtung (an der weiten Seite des Ziels vorbei) zeigten, wurden die Daten über beide Geschlechter ausgewertet.

Auch in Experiment 2 zeigte die Ballerfahrung einen signifikanten Effekt ($F(2, 73) = 5.11, p < .01, \eta^2 = .12$). Teilnehmende mit grosser Erfahrung verfehlten das Ziel um knapp 8 cm, mit mittlerer Erfahrung um 10 cm und mit keiner um 12 cm, wobei sich nach dem Post-hoc-Test (Fisher LSD) nur zwischen grosser und gar keiner Erfahrung ein signifikanter Unterschied bemerkbar machte ($p < .01$).

Der Faktor Instruktion dokumentierte einen signifikanten Effekt ($F(2, 64) = 3.17, p < .05, \eta^2 = .09$). Der leichte Performanzvorteil der Instruktionsgruppen wird in Abbildung 9 ersichtlich, wobei der Post-Hoc-Test (Fisher LSD) aufklärt, dass sich die beiden Instruktionsgruppen von der Kontrollgruppe, nicht jedoch voneinander signifikant unterschieden. Das naive Konzept bleibt, wenn auch in leicht geringerer Form, jedoch noch immer in starkem Ausmass vorhanden (siehe Abbildung 9).

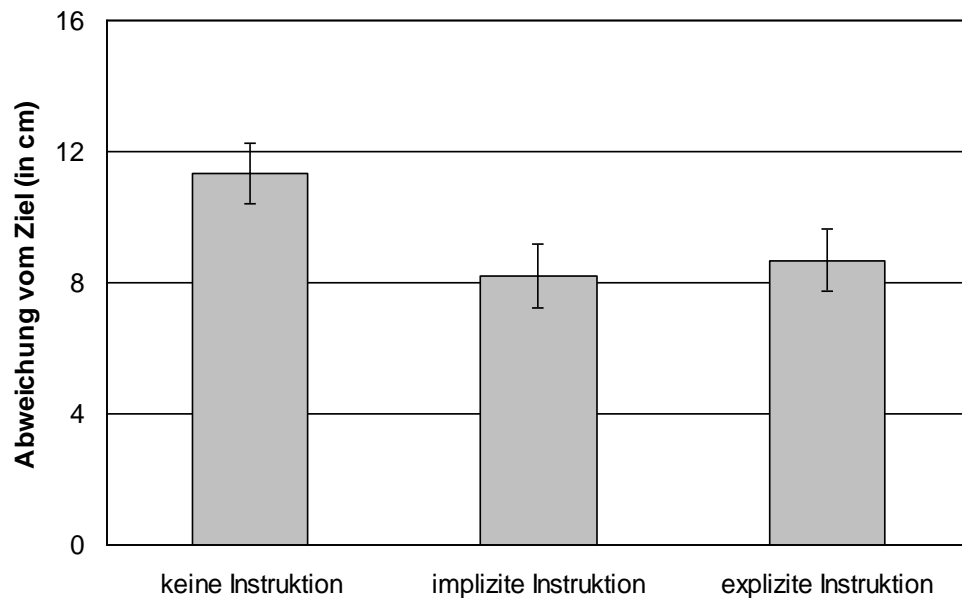


Abbildung 9 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Instruktion.

Die signifikanten Zieleffekte traten in allen Instruktionsgruppen auf. Die systematischen Performanzunterschiede der drei Winkel (siehe Abbildung 8) konnten trotz Leistungssteigerung auch durch Instruktionen nicht aufgehoben werden, was vor allem an der Überlegenheit der Ablenkungen auf den rechten Winkel zu liegen schien. Der Versuchsaufbau von Experiment 2 mit Messwiederholung und insgesamt 36 Ablenkungen unter verschiedenen Bedingungen liess dahingehend weitere Analysen zu.

Eine separate Analyse der drei Gruppen mit unterschiedlicher Ballerfahrung ergab nur für die Gruppe mit grosser Ballerfahrung einen signifikanten Effekt der Instruktion ($F(2, 29) = 3.37, p < .05, \eta^2 = .19$; Abbildung 10). Die Grafik veranschaulicht, dass durch die explizite Instruktion in allen Gruppen eine geringe Leistungsverbesserung eintrat, die Gruppe mit grosser Erfahrung profitierte jedoch am meisten. Die implizite Instruktion brachte über alle Bedingungen ausschliesslich den Ballerfahrenen eine Performanzsteigerung, die anderen erzielten daraus keinen Vorteil.

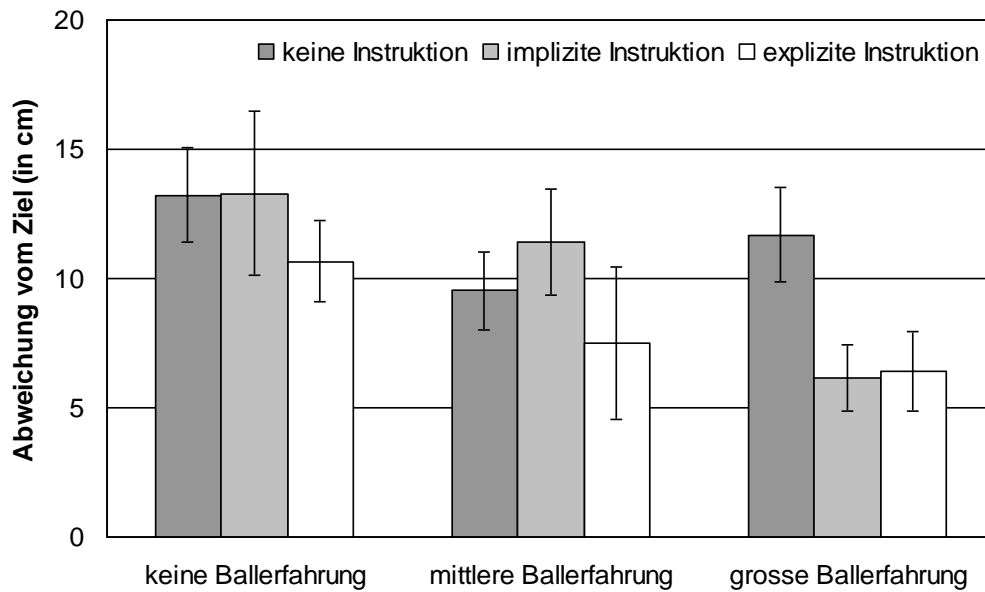


Abbildung 10 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Ballerfahrung und Instruktion.

Separate Varianzanalysen für die drei Instruktionsgruppen zeigten denn auch, dass sich die Messwiederholung (Stösse 19-36) in der Performanz nur in der Gruppe ohne Instruktion von der ersten Messung (Stösse 1-18) unterschied ($F(1, 21) = 6.64, p < .05, \eta^2 = .24$; siehe Abbildung 11). Die beiden Instruktions-Gruppen hingegen, welche tiefere Fehlerwerte auswiesen, erreichten keine weitere Steigerung der Leistung (implizite Instruktion, $F(1, 20) = .00, ns, \eta^2 = .00$; explizite Instruktion, $F(1, 19) = 2.07, ns, \eta^2 = .10$). Es wurde ersichtlich, dass sich die Fehlerwerte in der Messwiederholungsphase trotz Instruktion nicht mehr reduzierten.

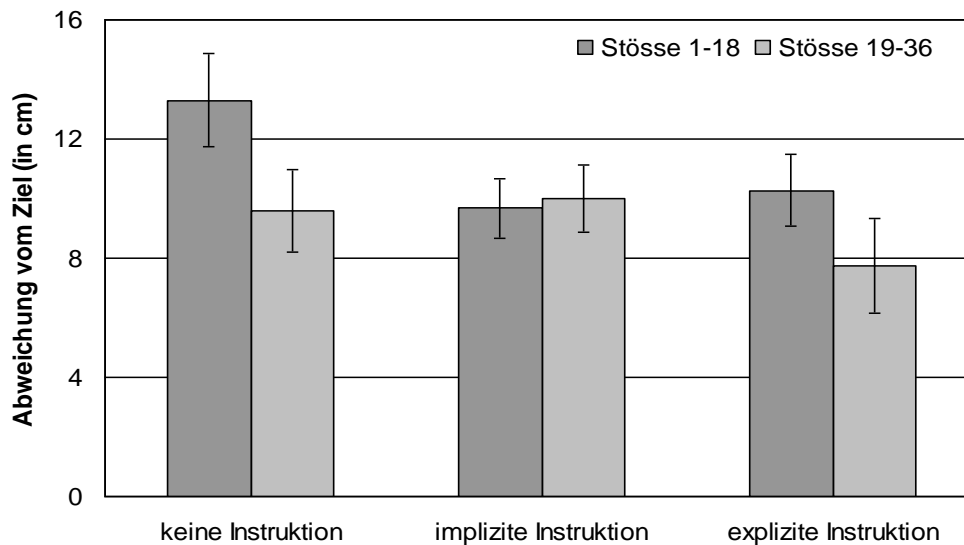


Abbildung 11 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Instruktion und Messwiederholung über alle Bedingungen. Nur bei der Gruppe ohne Instruktion trat eine signifikante Verbesserung auf.

Weiter wurde überprüft, ob sich innerhalb der Durchgänge Lerneffekte zeigten. Ein *Durchgang* bestand aus je drei Stößen auf die drei Winkel. Es fanden drei Durchgänge pro Messung statt, je einmal mit und einmal ohne Zeitdruck. Dies ergab 18 Stösse pro Messung, hinzu kam die Messwiederholung. Ein Lerneffekt für einen einzelnen Winkel wie in Experiment 1 konnte nicht nachgewiesen werden, jedoch zeigte die Interaktion von Durchgang und Zeitdruck einen signifikanten Effekt ($F(2, 146) = 3.85, p < .05, \eta^2 = .05$). Abbildung 12 zeigt, wie die Interaktion zustande kam. Besteht kein Zeitdruck (helle Balken), verbessert sich die Leistung geringfügig von Durchgang zu Durchgang. Die Fehlerwerte verringern sich von 11.3 cm im ersten Durchgang auf 8.7 cm im dritten – ein kleiner Lerneffekt ist erkennbar. Unter Zeitdruck jedoch nimmt die Leistung der Teilnehmenden über die Durchgänge ab, der mittlere Fehler nimmt von 9.2 cm auf 10.5 cm zu.

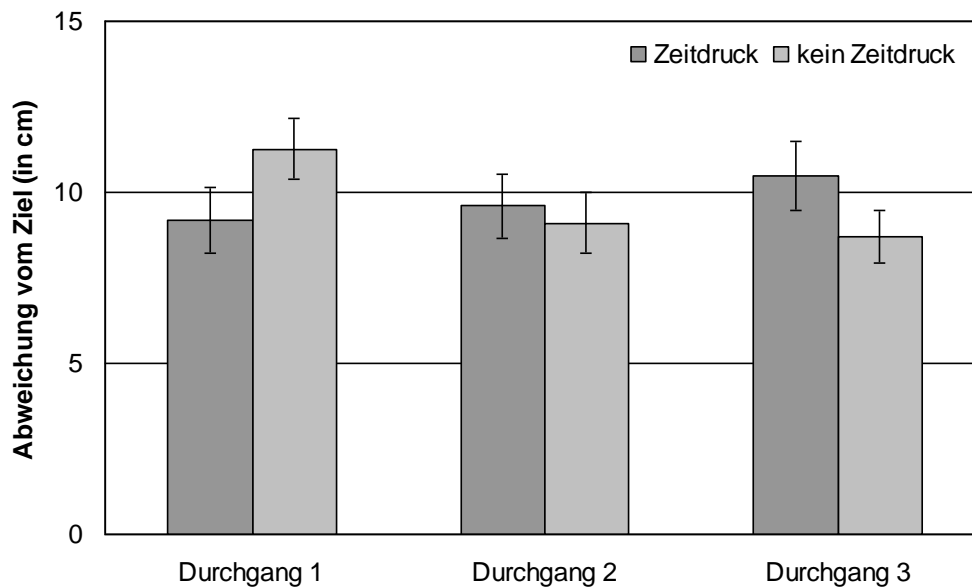


Abbildung 12 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel über die Durchgänge und nach Zeitdruck. Ohne Zeitdruck verbessert sich die Leistung in jedem Durchgang leicht. Unter Zeitdruck nimmt die Leistung über die Zeit ab, der Fehler wird grösser.

Ob die Stösse mit oder ohne Zeitdruck ausgeführt wurden, machte ohne weitere Differenzierung in den Ergebnissen keinen Unterschied ($F(1, 67) = .13$, ns , $\eta^2 = .00$). Ein solcher wurde jedoch in der Interaktion von Zeitdruck und Winkel augenfällig ($F(2, 134) = 34.1$, $p < .001$, $\eta^2 = .34$). Die Versuchspersonen schnitten beim rechten Winkel durchgehend am erfolgreichsten ab. Während die Stösse auf den rechten Winkel jedoch unabhängig vom Zeitdruck die annähernd gleichen Resultate hervorbrachten (in beiden Bedingungen lag der Fehlerwert bei rund 5 cm) zeigten sich Ablenkungen auf die anderen beiden Winkel sensibel gegenüber Zeitdruck (Abbildung 13). Die Ablenkungen auf das Ziel im spitzen Winkel unter Zeitdruck erzeugten einen grossen mittleren Fehlerwert (14.7 cm), ohne Zeitdruck lag dieser bei lediglich 8.3 cm. Genau umgekehrt verhielt es sich beim stumpfen Winkel, wo der Fehler unter Zeitdruck bei knapp 16.4 cm, ohne Druck jedoch bei nur rund 10 cm lag.

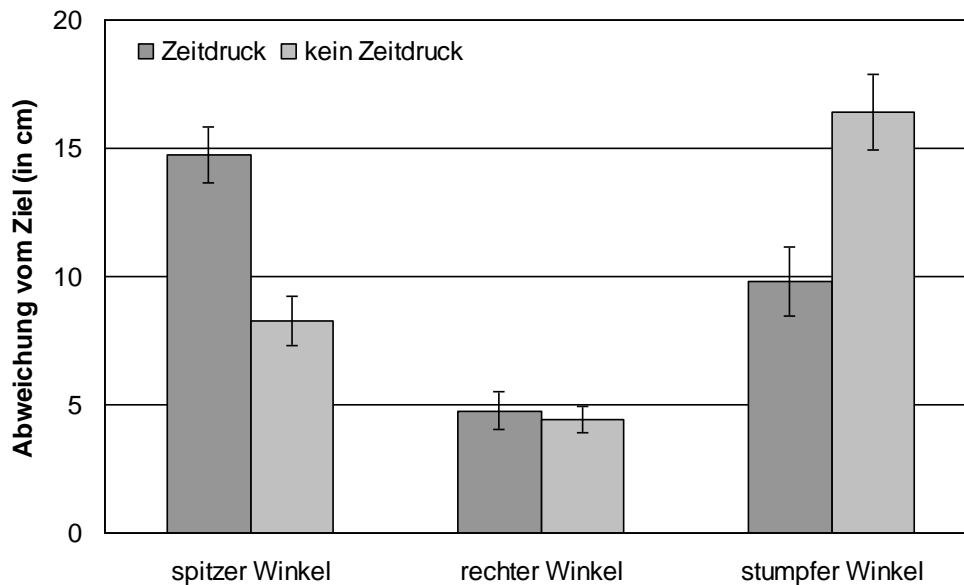


Abbildung 13 Mittlere Distanz der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Winkel, getrennt nach Zeitdruck. Beim rechten Winkel ist die Leistung konstant und unabhängig vom Zeitdruck. Unter Zeitdruck tritt der grösste Fehler beim spitzen Winkel auf, in der Einzelbedingung beim stumpfen Winkel.

Die Werte der Messwiederholung (Stösse 19-36) unterschieden sich signifikant von der ersten Messung (Stösse 1-18; $F(1, 73) = 8.83, p < .01, \eta^2 = .11$). Betrag der Fehlermittelwert der ersten 18 Stösse 10.8 cm, waren es bei der Messwiederholung 8.6 cm, der Fehler lag somit 2.2 cm tiefer als zu Beginn. Dies entspricht etwa der Hälfte des Durchmessers eines Golfballes. In Experiment 1 wurde festgestellt, dass das erste Feedback Einfluss auf den weiteren Verlauf der Übung ausübt. Abbildung 14 zeigt die 36 Stösse in einer Reihe an, danach getrennt, ob die Teilnehmenden unter Zeitdruck *begannen* oder nicht (*Startbedingung*). Die Daten sind jedoch über *alle* Stösse dargestellt. Begannen die Teilnehmer unter Zeitdruck, ist der Fehlerwert in den ersten Durchgängen gross, nimmt dann jedoch stetig ab. Wurde ohne Zeitdruck begonnen, ist der Fehler zu Beginn um einiges kleiner als in der anderen Gruppe, nach spätestens der Hälfte aller Ablenkungen haben sich die beiden Niveaus jedoch angeglichen. Ein Lerneffekt fand also nur bei den Personen statt, welche zu Beginn unter Druck spielen mussten. Die Stösse unterschieden sich in dieser Gruppe denn auch signifikant ($F(35, 1260) = 1.68, p < .01, \eta^2 = .04$). In der Gruppe, welche mit der Einzelbedingung begann, fand sich diesbezüglich kein Unterschied ($F(35, 1330) = 1.602, ns, \eta^2 = .01$).

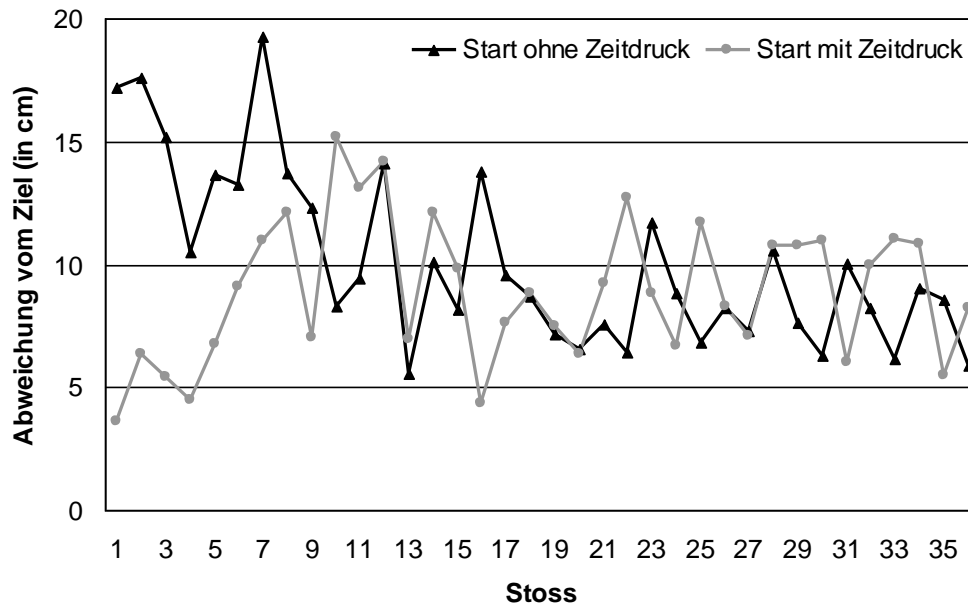


Abbildung 14 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel über die 36 Stösse, aufgeteilt nach Startbedingung. Teilnehmende mit Startbedingung ‚Zeitdruck‘ weisen zunächst höhere Fehlerwerte auf als Personen, welche ohne Zeitdruck begannen. Nur die erste Gruppe zeigt eine positive Lernkurve.

Der Lerneffekt wird durch die signifikante Interaktion von Startbedingung und Messwiederholung bestätigt ($F(1, 16) = 5.05, p < .05, \eta^2 = .24$). Teilnehmende, welche unter Zeitdruck beginnen mussten, wiesen in den ersten 18 Ablenkungen einen Fehlermittelwert von 12 cm, Personen in der Einzelbedingung jedoch nur von 9.5 cm auf. In der Messwiederholung hingegen zeigte sich ein gegenteiliges Bild: Der Fehlermittelwert betrug in der ersten Gruppe nur noch 7.3 cm, in der zweiten hingegen 10 cm. Während sich also Personen, welche unter Zeitdruck beginnen mussten, laufend verbesserten, stieg der Fehlerwert in der anderen Gruppe leicht an (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1

Fehlermittelwerte und Standardfehler nach Startbedingung und Messwiederholung.

Fehlermittelwerte und Standardfehler in cm	Stösse 1-18		Stösse 19-36	
	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>
Startbedingung				
Zeitdruck	12.00	0.82	7.3	1.00
Einzelbedingung	9.50	0.81	10.0	0.94

Hier scheint erneut eine Art *Prinzip des ersten Feedbacks* bezüglich der über Zeitdruck induzierten Fehler zu wirken. Je grösser der Fehler zu Beginn, desto stärker wirkt sich ein Lerneffekt auf nachfolgende Trials aus.

Die Dreifachinteraktion von Messwiederholung, Startbedingung und Zeitdruck zeigte ebenfalls Signifikanz an ($F(1, 16) = 12.33, p < .01, \eta^2 = .44$). In Abbildung 15 sind die Auswirkungen grafisch dargestellt.

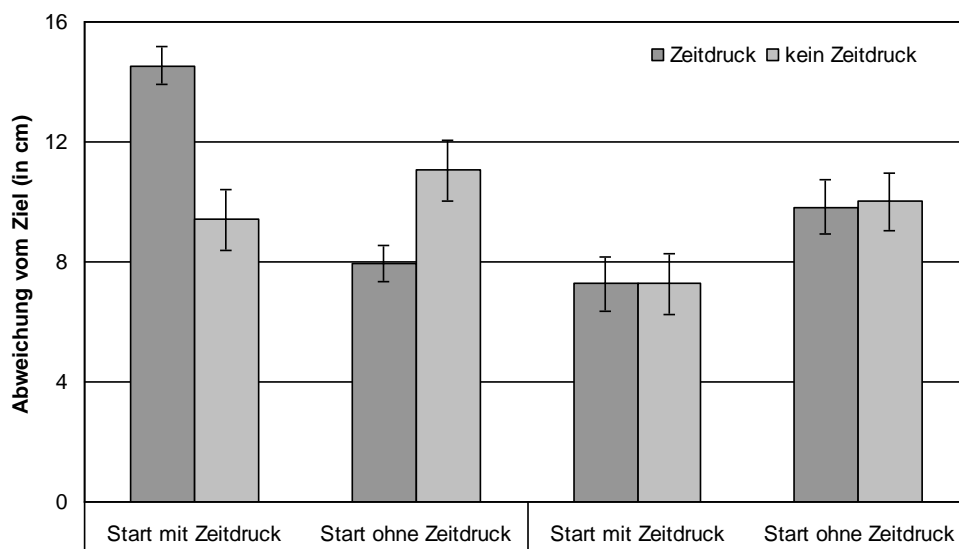


Abbildung 15 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Startbedingung und Zeitdruck. In den Stössen 1-18 zeigen sich Leistungsunterschiede, welche in den Stössen 19-36 bereits nicht mehr zu sehen sind. Teilnehmende, welche unter Zeitdruck begannen, schnitten in den Stössen 19-36 signifikant besser ab als solche, die ohne Zeitdruck begannen.

Es fällt auf, dass sich die Stösse 1-18 und 19-36 bezüglich Zeitdruck und Startbedingung unterschieden. In der Messwiederholung zeigte sich kein Unterschied zwischen den Stössen unter Zeitdruck und solchen ohne Zeitdruck mehr. Ausserdem sticht hervor, dass offenbar ein Vorteil für Teilnehmende besteht, die das Experiment unter Zeitdruck beginnen mussten.

Bei der Betrachtung der Dreifachinteraktion von Zeitdruck, Instruktion und Durchgang tritt ein signifikanter Effekt hervor ($F(4, 136) = 2.61, p < .05, \eta^2 = .07$). Ein Durchgang bestand aus je drei Stössen auf die drei Winkel. Unter Zeitdruck waren Teilnehmer mit impliziter Instruktion die einzigen, welche sich über die drei Durchgänge kontinuierlich verbesserten (Abbildung 16). Betrug der Fehler im ersten Durchgang 11.3 cm, so reduzierte er sich auf 5.3 cm im dritten Durchgang. Die implizite Instruktion bewirkte also einen Lerneffekt, während die explizite das Gegenteil erreichte: Der Fehler wurde von Durchgang zu Durchgang grösser, von anfangs 6.3 zu 11 cm am Ende. Interessanterweise zeigt Abbildung 16, dass die Gruppe ohne Instruktion bezüglich der Leistung im Vergleich mit den beiden Instruktionsgruppen über die drei Durchgänge unter Zeitdruck die besten Resultate erzielte.

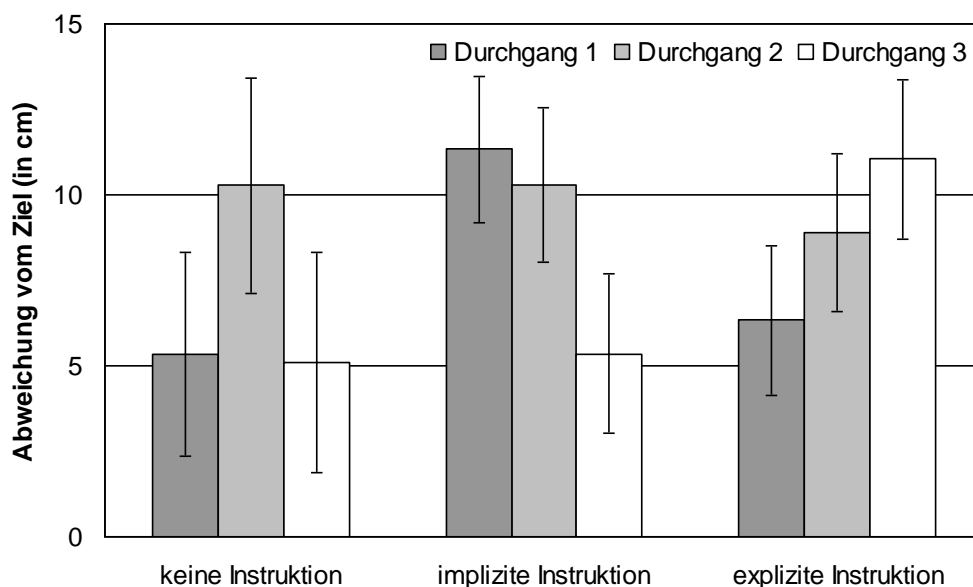


Abbildung 16 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Instruktion und Durchgang in der Bedingung **mit Zeitdruck**. Ohne Instruktion schnitten die Probanden im Durchschnitt am besten ab. Bei der impliziten Instruktion ist eine Verbesserung über die Durchgänge erkennbar, bei der expliziten Instruktion ein Rückgang der Leistung.

Sobald die Teilnehmer *nicht* unter Zeitdruck standen, ergab sich jedoch ein anderes Bild. In dieser Bedingung schnitten Teilnehmer, welche die implizite Instruktion erhielten, am besten ab. Ein Lerneffekt zeigte sich bei beiden Instruktionsgruppen (implizit jedoch auf höherem Niveau). Ohne Instruktion ist eine solche Tendenz weniger gut erkennbar, im dritten Durchgang liess die Leistung der Teilnehmer sogar wieder nach. Mit 11.8 bzw. 12 cm mittlerem Fehler begingen die Probanden mit der expliziten bzw. ohne Instruktion einen um über 5 cm grösseren Fehler als die Probanden mit der impliziten Instruktion (Fehler 6.7 cm).

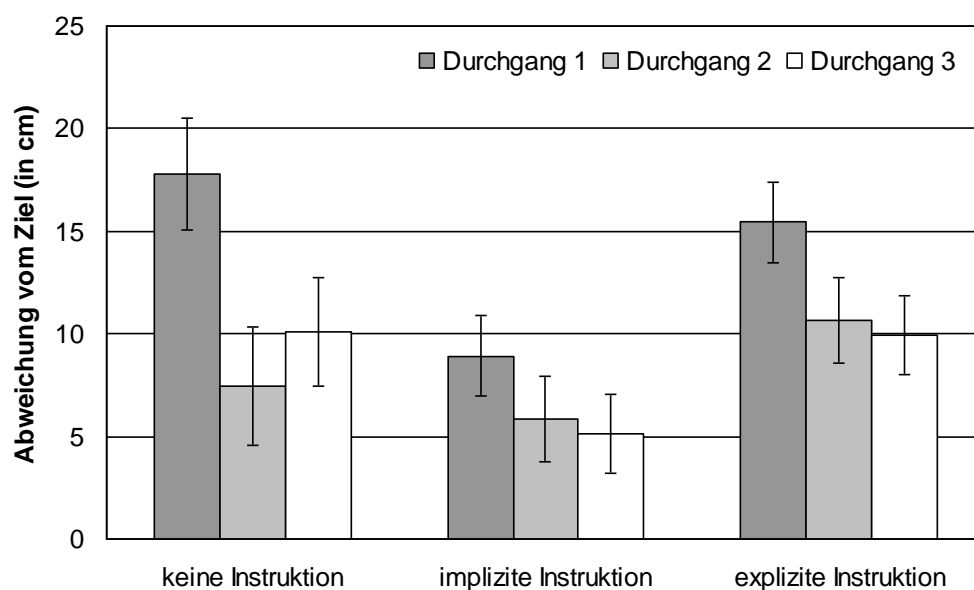


Abbildung 17 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Instruktion und Durchgang in der Bedingung **ohne Zeitdruck**. Probanden mit der impliziten Instruktion schnitten am besten ab, zudem zeigte sich eine Verbesserung über die Durchgänge. Probanden mit der expliziten Instruktion verbessern sich ebenfalls, jedoch auf einem tieferen Niveau.

Ein grosser Unterschied gegenüber Experiment 1 zeigte sich bei der Analyse des Einflusses impliziter und expliziter Information auf die Leistung der Ballablenkung. Instruktionen führten unter Zeitdruck nicht zu besseren Leistungen, vielmehr zeigten Teilnehmer ohne Instruktion die geringste Abweichung. Die Situation sah grundsätzlich anders aus, sobald *kein* Zeitdruck vorherrschte. Teilnehmende, welche eine implizite Instruktion erhielten, schnitten in den

Durchgängen ohne Zeitdruck am besten ab (siehe Abbildung 17). In Bezug auf den Zeitdruck ist die Art der Instruktion folglich entscheidend: Nur die Ballerfahrenen konnten die implizite Instruktion über alle Bedingungen gewinnbringend nutzen. Ansonsten war sie nur hilfreich, wenn die Aufgabe ohne Zeitdruck ausgeführt werden konnte. Bestand Zeitdruck, waren hingegen beide Instruktionen hinderlich. Mit impliziter Instruktion wurde dennoch unabhängig von der Leistung in beiden Bedingungen ein Lerneffekt erzielt, während die explizite Instruktion unter Zeitdruck paradoxerweise das Gegenteil erreichte: Das Ausmass des Fehlers nahm von Durchgang zu Durchgang zu.

3.2.3.6 Diskussion Experiment 2

Die Verbesserung der Leistung über die Durchgänge in der Bedingung ohne Zeitdruck scheint nicht alleine über visuelles Feedback und entsprechender Rekalibrierung des visuo-motorischen Effektorsystems zu erfolgen. Darauf deutet die Performanzsteigerung hin, die nach beiden Instruktionen (ohne Zeitdruck) eintritt. Unter Zeitdruck blieb ein Vorteil der Instruktionsgruppen aus, im Gegenteil, die Gruppe ohne Instruktion erzielte unter Druck die besten Leistungen. Es scheint, als würde in dieser Bedingung der Zugriff auf konzeptuelle Aspekte gestört, worauf die Teilnehmenden auf ein intuitives Konzept oder eine Form heuristischen Verhaltens zurückfallen, was zu den beobachteten Effekten führt. Bereits Daum et al. (2008) diskutierten die Möglichkeit einer Art Heuristik; ihrer Meinung nach könnte eine solche beispielsweise nach dem Prinzip “apply a force in the direction of the position in the goal you want to hit” (S. 57) aufgebaut sein. Aufgrund der vorliegenden Daten scheint eine heuristische Anwendung plausibel; dem Performanzvorteil des rechten Winkels nach zu urteilen, scheint parallel dazu jedoch eine *Präferenz des rechten Winkels* wirken. Ein solches Prinzip scheint vor dem Hintergrund des Salienzvorteils rechter Winkel im Alltag (Gebäude, Tische, Fenster usw.) Sinn zu machen. Es wird jedenfalls deutlich, dass das naive Konzept, welches bei der rein intuitiven Ausführung ohne Instruktion am stärksten zum Vorschein kommt, zu einer adäquaten Annäherung an die normativ korrekte Lösung führt und in den Ablenkungsaufgaben eine angemessene ‚Strategie‘ der Aufgabenbewältigung darstellt.

Teilnehmer, welche eine der beiden Instruktionen erhielten, wiesen zwar einen Performanzvorteil aus, das Misskonzept an sich trat jedoch auch danach in signifikantem Ausmass auf. Dies deutet nicht auf ein konzeptuelles Verständnis aufgrund der Instruktionen hin, da ansonsten eine stärkere Verbesserung der Leistung erwartet werden und das Misskonzept nicht mehr in diesem Ausmass zu zutage treten dürfte. Die impliziten und expliziten Instruktionen wirkten sich auf die Leistung aus und verminderten das Ausmass des Fehlers in der Bedingung ohne Zeitdruck. Eine Eliminierung des naiven Konzepts fand jedoch nicht statt. Die Bälle wurden auch nach der Instruktion in einem zu grossen Winkel abgelenkt. Gemäss Courtney und Hubbard (2008) lässt sich eine Verbesserung der Leistung bei gleichzeitigem Aufrechterhalten des Misskonzepts auf die Wirkung zweier unterschiedlicher Mechanismen zurückführen. Ein Mechanismus ist kognitiv robust, also unempfindlich für Instruktionen, Erwartungen oder Vorstellungen. Der zweite Mechanismus ist beeinflussbar, reagiert also sensibel auf Instruktionen, Vorstellungen und Ideen. Das Aufrechterhalten des Misskonzepts trotz Instruktion könnte demnach eine Kombination dieser beiden Mechanismen widerspiegeln. Die Idee einer auf mehr als einem Prozess beruhenden Verarbeitung ist auch kompatibel mit früheren Überlegungen (z.B. Finke & Freyd, 1989; Hubbard, 2006) zum *Representational Momentum*, welche auf andere physikalische Misskonzepte verallgemeinert werden könnten. Hubbard (2006) geht davon aus, dass Misskonzepten einerseits eine automatische, mit den Regeln der klassischen Physik konsistente Extrapolation zugrunde liegt, welche aufgrund fehlender weiterer Informationen zustande kommt. Andererseits wirkt eine eher kognitive Komponente, welche das zu Fehlern führende Verhalten aufgrund von zusätzlichem Wissen, Erwartungen und Vorstellungen modifiziert. Bezogen auf das in dieser Arbeit untersuchte naive Konzept würde das zu Fehlern führende Verhalten somit einerseits kognitiv veränderbaren, eher deliberativen, und andererseits nicht veränderbaren, automatischen Prozessen unterliegen. Die im Grunde eigentlich adäquate Extrapolation wird über die nicht verbalisierbaren, impliziten *perzeptiv-motorischen* Komponenten generiert und durch zusätzliches (Fehl-)Wissen über verbalisierbare, explizite Komponenten modifiziert. Der leichte Leistungsgewinn nach der expliziten Instruktion könnte auf ein solches Zusammenspiel hindeuten, ebenso die schwächere Leistung unter Zeitdruck, wodurch die Integration der expliziten Information gestört werden könnte. Wenn davon ausgegangen wird, dass

die implizite Instruktion eher die *perzeptiv-motorischen* Komponenten anspricht, bedeutet die Leistungssteigerung nach der impliziten Instruktion, dass auch diese Komponente veränderbar ist. Dieser Befund steht im Widerspruch zu Courtney und Hubbard (2006).

Die Ergebnisse belegen jedoch eindeutig, dass intuitive oder naive Konzepte, die in einer physikalischen Aufgabe gemessen werden können und zu einem stabilen Fehler führen, veränderbar sind. Courtney und Hubbard (2008) kamen in ihren Studien zum Schluss, dass explizites physikalisches Wissen bezüglich der zu lösenden Aufgabe zu einer Verbesserung derselben führt. Diese Erkenntnis kann einerseits bestätigt und andererseits um eine implizite Komponente, welche sogar einen noch stärkeren Einfluss auszuüben scheint, erweitert werden. Dies gilt allerdings nur für sehr Ballerfahrene oder unter der Prämisse, dass die Aufgabe nicht unter Zeitdruck ausgeführt werden muss.

Die spezifische motorische Aufgabe, einen von der Seite rollenden Ball mittels Schläger auf ein Ziel abzulenken, war für alle Teilnehmenden neu. Da es keine Trainingsdurchgänge gab, können die initialen Ablenkungen als rein intuitiv angesehen werden. Die schwächere Leistung unter Zeitdruck nach einer Instruktion kann also nicht durch die Störung eines automatisierten Prozesses erklärt werden. Es liegt vielmehr der Schluss nahe, dass die Leistung deshalb abnahm, weil die intuitive Bewegungsausführung durch die Instruktionen beeinflusst oder gestört wurde. Vor diesem Hintergrund kann auch das Ergebnis gedeutet werden, dass Personen mit der Startbedingung *Zeitdruck* zwar in den ersten Durchgängen grössere Fehler begingen, danach aber einen ausgeprägten Lerneffekt demonstrierten. Bestand von Beginn weg Zeitdruck, wurde die Fokussierung auf die Bewegungsausführung, welche von einer der Instruktionen geprägt war, von Anfang an erschwert, wohingegen die Gruppe ohne Instruktion die Aufgabe rein intuitiv bewältigte. Diese Art der Ausführung ist zwar nicht perfekt, führt aber, wie oben beschrieben, zu einer adäquaten Annäherung und ist damit den beiden anderen in dieser Situation überlegen.

Es besteht physikalisch gesehen kein Unterschied darin, ob ein Ball orthogonal zur Blickrichtung rollt und in einem spitzen Winkel, oder aber *aus* einem spitzen Winkel kommt und geradeaus abgelenkt werden muss. Dennoch deutet die Tatsache, dass in Experiment 2 Ablenkungen auf den rechten Winkel

gegenüber den anderen im Vorteil sind, auf eine Sensibilität der Teilnehmenden hinsichtlich dieses Unterschieds hin. Da gleichzeitig der Winkel der Rampe und damit die Geschwindigkeit des Balles verändert wurden, lässt sich kein eindeutiges Urteil über die Gründe der Differenz fällen. Weil sich die Fehlermittelwerte jedoch auf einem ähnlichen Niveau bewegten wie in Experiment 1, scheint der Grund für den Unterschied darin zu liegen, dass in Experiment 1 nur neun Stösse ausgeführt wurden. Da bei Stössen auf den rechten Winkel der grösste Lerneffekt auftritt, ist anzunehmen, dass sich die *Präferenz des rechten Winkels* auch in Experiment 1 gezeigt hätte, wenn, wie in Experiment 2, weitere Durchgänge gefolgt wären.

Das *Prinzip des ersten Feedbacks* beschreibt die auch in diesem Experiment entdeckte Tatsache der Leistungssteigerung zwischen den Durchgängen: Je grösser der Fehler zu Beginn, desto stärker scheint ein Lerneffekt auf nachfolgende Trials zu wirken. Der hohe Fehlermittelwert der Gruppe mit Startbedingung Zeitdruck ging in der Messwiederholung im Vergleich mit den ersten 18 Versuchen stark zurück, auf die Gruppe mit Startbedingung ohne Zeitdruck (mit kleinerem Fehlermittelwert nach 18 Stössen) traf dies nicht zu. Je grösser der Fehler war, desto grösser war auch die nachfolgende Performanzsteigerung.

3.2.3.7 Fazit Laborversuche

Bei der Ermittlung der Aussagekraft von Erkenntnissen, welche aus spezifischen Szenarios gewonnen wurden, stellt sich immer die Frage der Generalisierbarkeit, also inwieweit sich die Beobachtungen bzw. Resultate auf andere Umgebungen und Bereiche übertragen lassen. Die Erfahrung in Ballsportarten korrelierte positiv mit der Leistung in den Experimenten 1 und 2. Mit einer solch artifiziellen Laborsituation hatte jedoch niemand der Teilnehmenden zuvor Erfahrung sammeln können. Der Leistungsvorteil der Ballerfahrenen sowie wie die Tatsache, dass nur diese Gruppe von der impliziten Instruktion profitieren konnte, weist auf einen *perzeptiv-motorischen Vorteil* hin.

Mohr (2001) beschreibt in seinen Versuchen eine sehr schnelle Adaptation der Teilnehmenden auf die Ablenkung bewegter Objekte; nach dem ersten Versuch verbesserte sich die Leistung rapide. In den Experimenten 1 und 2 war der jeweilige Versuchsaufbau mit demjenigen von Mohr (2001) zu vergleichen. Eine eindeutige

Verbesserung zwischen dem allerersten und dem zweiten Versuch wie in den Vorversuchen sowie bei Mohr (2001) trat nach der Befestigung des Schlägers an einer Feder nicht mehr auf. Dies bestätigte die Vermutung, dass die bessere Leistung in nachfolgenden Stössen vornehmlich auf Kraft-, nicht jedoch auf Winkelkompensation zurückzuführen war. Obwohl die erhöhte Kraftanstrengung eine taugliche Kompensationsstrategie des Ball-Eigenimpulses darstellt, sollte in den Experimenten 1 und 2 vor allem die Winkel- oder allenfalls eine kombinierte Kompensation untersucht werden. Dies sollte dazu beitragen, eine möglichst vergleichbare Wissensbasis in Bezug auf die nachfolgenden Experimente auf dem Fussballfeld zu erhalten, bei welchen eine Ablenkung durch übermässigen Krafteinsatz gegenüber dem fliegenden Ball nicht möglich war. Eine überproportionale Krafteinwirkung auf den Golfball war durch die Befestigung nicht mehr möglich, was den viel weniger stark ausgeprägten Adaptationseffekt erklären dürfte, als er bei Mohr (2001) gefunden wurde.

3.3 Experimente auf dem Fussballfeld

Die menschliche Fähigkeit, Bewegungsbahnen adäquat einzuschätzen, ist von konkreten Erfahrungen abhängig. Beispielsweise sind Vorhersagen über Trajektorien von aus einem gekrümmten Schlauch fliessendem Wasser adäquater als von Bällen, welche eine gekrümmte Bahn verlassen (Kaiser, Jonides, & Alexander, 1986). Neben dem Einfluss von (fehlenden) Alltagserfahrungen sind auch der Präsentationskontext und die Komplexität der Situation entscheidende Einflussgrössen, welche in der Literatur ausführlich diskutiert werden (Catrambone, Jones, Jonides, & Seifert, 1995; Daum & Krist, 2009; Freyd & Jones, 1994; Kaiser, Proffitt, & Anderson, 1985; Kaiser, Proffitt, Whelan, & Hecht, 1992; Kozhevnikov & Hegarty, 2001; Krist et al., 1993; Reed & Vinson, 1996). Trotz zutreffender Voraussagen und Handlungen in vertrauten Kontexten scheint die Generalisierung auf andere, nicht vertraute Situationen ein ungleich grösseres Problem darzustellen (Catrambone et al., 1995; Kaiser et al., 1986).

Fussballspieler sind zur Untersuchung der Impulsintegration bewegter Objekte und Einschätzung von Bewegungsbahnen besonders geeignet. Wie in kaum einem anderen Bereich besteht beinahe die gesamte Tätigkeit des Fussballspiels aus

sich aufeinander folgenden Impulsintegrationen. Die Ausübung eines Kraftstosses auf ein unbewegtes Objekt stellt im Fussball eher die Ausnahme als die Regel dar. In den ersten beiden Experimenten bestätigte sich der (positive) Einfluss von Erfahrung auf die Leistung in den Versuchen zur Impulsintegration, wie ihn bereits Mohr (2001) beschrieb. Wie unter Punkt 2.1.6 dargelegt, ist die Literatur zu Erfahrungseinflüssen jedoch uneinheitlich bzw. von den konkreten Aufgabenstellungen geprägt, welche die Teilnehmenden durchzuführen hatten. Daum et al. (2008) beschreiben ein Misskonzept selbst bei professionellen Spielern der Fussballweltmeisterschaft bei der Ausführung von Kopfbällen. So erstaunlich dieser Befund bei solch hochtrainierten Experten der Objektablenkung auch sein mag, aufgrund des Charakters der Post-Hoc-Studie konnten konfundierende äussere Einflüsse (wie z.B. Drall und Geschwindigkeit des Balles, Störung durch Gegenspieler, wahrgenommene Wichtigkeit des Ereignisses usw.; siehe auch Abschnitt 2.1.7, *Choking under pressure*) nicht ausgeschlossen werden. Eine systematische, experimentelle Untersuchung der Kopfbälle von Fussballspielern, also von Experten der Ballablenkung, würde die Aussagekraft einerseits der Experimente 1 und 2, andererseits der Studie von Daum et al. (2008) erhöhen. Es schafft die einzigartige Möglichkeit, das Verhalten von Experten *in action*, in kontrollierter Umgebung, ohne störende Einflüsse zu erforschen. Ausserdem kann auf diese Weise die von verschiedener Seite (z.B. Kozhevnikov & Hegarty, 2001) geäusserte Vermutung, fehlende situationsspezifische Erfahrungen seien für die Ergebnisse in Aufgaben zur intuitiven Physik verantwortlich, überprüft werden.

Die Experimente 1 und 2 bestätigten die Annahme eines naiven Konzepts, welches sich in zu grossen Ablenkungswinkeln und dem Verfehlen des Ziels äusserte. Zunächst sollte nun untersucht werden, ob das an der Fussballweltmeisterschaft 2006 untersuchte und von Daum et al. (2008) beschriebene Misskonzept bei Kopfabnahmen auch in einer regulären, standardisierten Trainingssituation zu finden ist, in welcher die Teilnehmer keinen zusätzlichen äusseren Einflüssen (wie z.B. Druck oder Bedrängung durch Gegner) ausgesetzt sind. Die Autoren berichteten das Phänomen ausschliesslich für Kopfbälle, weshalb der Fokus auch in den im Folgenden beschriebenen Experimenten auf Kopfabnahmen gerichtet wurde.

3.4 Experiment 3: Kopfbälle ohne Instruktion

3.4.1 Verwendete Instrumente und Verfahren

Die Experimente mit Fussballspielern fanden auf offenen, regulären Fussballfeldern statt. Die Unterlage bestand zumeist aus natürlichem, in einem Fall aus künstlichem Rasen. In ein spielübliches 7-Meter-Tor wurde eine ebenso grosse Plane gehängt, auf welche im Abstand von je 3.5 Metern drei Ziele markiert waren, welche aus 10 cm breiten Linien bestanden und sich von der Latte des Tores bis zum Boden erstreckten. Zwei Ziele lagen jeweils knapp neben den Pfosten, eines genau in der Mitte des Tores. Die Anordnung der Ziele war erneut so gewählt, dass sie vom Ort der Ablenkung (hier: Elfmeterpunkt) in drei Winkeln lagen: in einem spitzen Winkel, in einem rechten Winkel und in einem stumpfen Winkel. Zur Vereinfachung der Auswertung wurde die Plane in knapp 50 cm breite Quadrate unterteilt (dies entspricht etwa dem doppelten Balldurchmesser) und das gesamte Experiment mit einer Videokamera aufgezeichnet. Durch einfaches Abzählen der Quadrate zwischen dem Ballaufschlagpunkt auf der Plane und dem zu treffenden Ziel konnte der Abstand leicht eruiert und so genau ausgewertet werden (Abbildung 18).

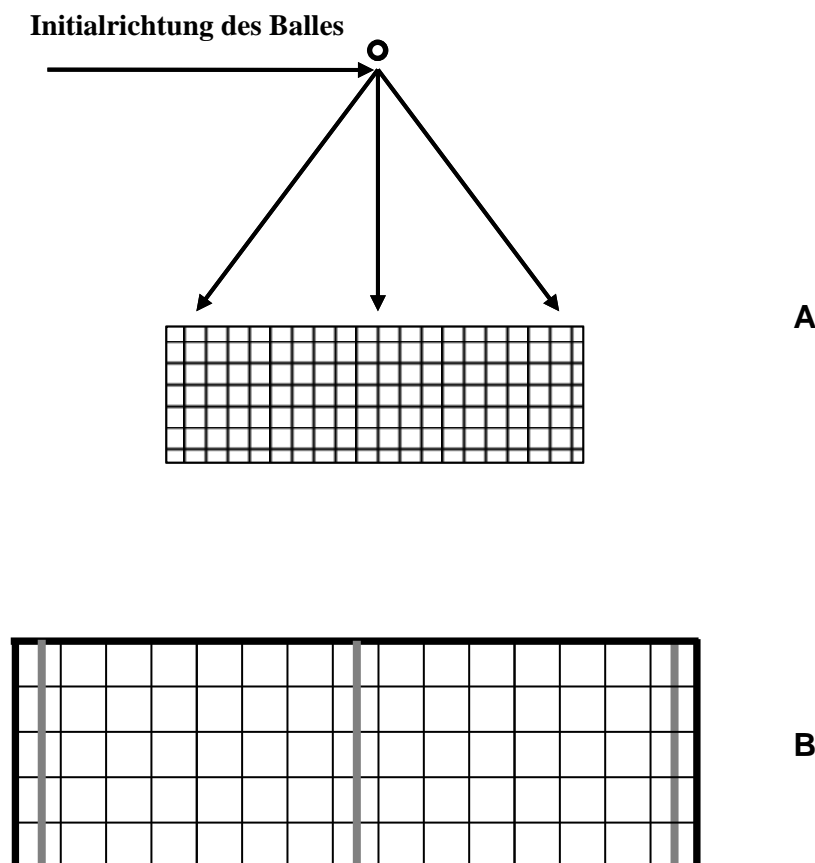


Abbildung 18 A) Schematische Darstellung der Ausgangssituation in den Experimenten 3 und 4. Ein von der Seite kommender Fussball musste mittels Kopfstoss von der Höhe des Elfmeterpunktes aus auf Ziele in drei verschiedenen Winkeln (spitz, recht, stumpf) abgelenkt werden. B) Darstellung der in Quadrate unterteilten Plane, die an einem spielüblichen Fussballtor befestigt war. Die senkrechten, grauen Linien stellen die drei auf der Plane markierten Ziele dar, auf welche die Spieler die Bälle ablenken mussten.

3.4.2 Versuchsablauf

Für die Experimente 3 und 4 wurde ein Ballzuspielgerät verwendet, welches durch eine Kombination von Gummizügen und Stahlfedern über manuelle Manipulation in der Lage war, Flanken von Fussbällen in unterschiedlicher Höhe und Geschwindigkeit zu produzieren. Auf diese Weise wurden aus einer Entfernung von 15 Metern Fussbälle mittlerer Geschwindigkeit in ca. 1,8 Metern Höhe in Richtung Elfmeterpunkt gespielt, von wo aus ihn die Teilnehmer mittels Kopfball auf die verschiedenen Ziele abzulenken hatten. Ob die Flanken von der rechten oder der linken Seite her kamen, machte sich in den Vorversuchen bezüglich der Leistung

nicht bemerkbar. Aus Gründen der Standardisierung und der besseren Vergleichbarkeit der Stichproben wurden die Bälle deshalb den Teilnehmern einheitlich von der gleichen Seite zugespielt, nämlich der Seite, die dem linken Pfosten (aus der Sicht eines Torhüters) näher ist. Nach mehreren Vorversuchen und Gesprächen mit Spielern und Experten wurde der Ball schliesslich mit ca. 60 km/h in einer flachen Flugbahn zugespielt. Dies entsprach am ehesten einer ‚natürlichen‘ Situation, wie sie in Fussballspielen vorkommt, wenn eine Flanke, von der Seite kommend, auf das Tor geköpft wird. Die Versuche waren parallel zu Experiment 1 angelegt, jeder Teilnehmer musste jeweils neun Kopfbälle spielen, drei auf jeden Winkel. Der Versuch wurde während eines regulären Mannschaftstrainings durchgeführt. Zwei Spieler wurden jeweils gleichzeitig zu der Versuchsanlage gebeten, wo ihnen der Versuch erklärt wurde. Ein Spieler führte jeweils die Übung durch, während der andere die Bälle einsammelte und wieder dem Versuchsleiter übergab. Hatte der erste Spieler die Übung absolviert, wurde gewechselt. Anschliessend integrierten sich die beiden Spieler wieder in den normalen Trainingsbetrieb und das Experiment wurde mit zwei anderen Teilnehmern durchgeführt.

3.4.2.1 Teilnehmer Experiment 3

Teilnehmer in Experiment 3 waren die Spieler der männlichen Nachwuchs-Jugendauswahl (unter 18 Jahren) des Fussballclubs Zürich ($n = 18$). Alle Spieler waren seit ihrer Kindheit in einem Fussballverein tätig und wurden dank ihres überdurchschnittlichen Talents bereits früh gefördert. Die selbst- sowie von den Trainern eingeschätzte und auch demonstrierte Kopfballstärke der einzelnen Spieler variierte naturgemäss, alle Spieler hatten aber in ihrer jahrelangen sportlichen Ausbildung die Technik des Kopfballs von Grund auf erlernt.

3.4.2.2 Resultate Experiment 3

Ein Vergleich der drei Winkel zeigte, dass sich nur Kopfbälle auf das Ziel im spitzen Winkel signifikant von Null unterschieden ($t(53) = 4.22, p < .001$; rechter Winkel, $t(53) = 0.7, ns$; stumpfer Winkel, $t(53) = 1.99, p = .052$). Die Abweichung ging in die erwartete Richtung: Die Bälle verpassten das Ziel auf der weiten Seite,

und dies um durchschnittlich eineinhalb Meter. Der Einfluss des Zielwinkels auf das Misskonzept bestätigte sich in einer Varianzanalyse mit Messwiederholung. Die drei Winkel unterschieden sich signifikant ($F(2, 34) = 29.1, p < .001, \eta^2 = .33$; siehe Abbildung 19). Dass die Kopfbälle auf den stumpfen Winkel im Minus-Bereich lagen, bedeutet, dass die Bälle auf dieses Ziel in einem zu spitzen Winkel abgelenkt wurden. Das erwartete naive Konzept trat also ausschliesslich beim spitzen Winkel auf. Dennoch zeigte sich wiederum, dass die Fehlerwerte bei der Ablenkung auf das Ziel im rechten Winkel im Vergleich zu den anderen besonders tief waren. Eine Kontrolle der Auswertung ergab, dass diese tiefen Werte sich nicht aus einer günstigen Konstellation von Abweichungen auf beide Seiten ergaben, welche insgesamt zu einem tiefen Mittelwert führten, sondern aus lediglich geringen Abweichungen bestanden und tatsächlich Ausdruck der erhöhten Treffsicherheit auf diesen Winkel waren.

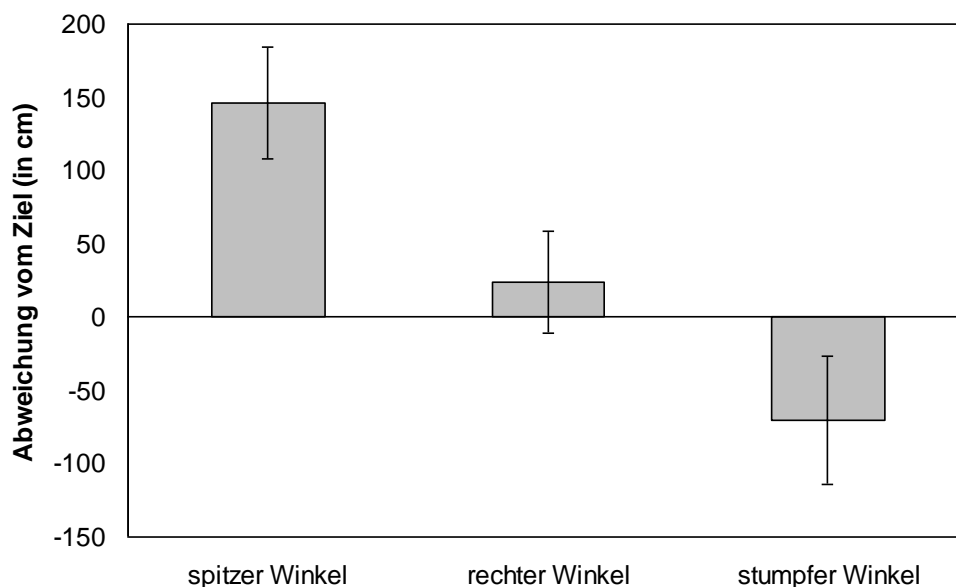


Abbildung 19 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Winkel. Kopfbälle auf das Ziel im spitzen Winkel werden in einem zu grossen Winkel abgelenkt, solche auf das Ziel im stumpfen Winkel in einem zu kleinen.

Analog zum Einfluss des Startwinkels in Experiment 1 zeigte sich auch in diesem Experiment ein signifikanter Effekt des Startwinkels ($F(2, 15) = 4.32, p < .05, \eta^2 = .37$). Die Teilnehmer, welche mit dem spitzen oder rechten Winkel begannen, schnitten über alle neun Ablenkungen gesehen besser ab als die Teilnehmer, welche den ersten Ball auf den stumpfen Winkel ablenken mussten.

Dies äusserte sich an den Mittelwerten: Mit spitzem oder rechtem Winkel angefangen, betrug der Fehlermittelwert aller Ablenkungen praktisch Null. Begannen die Versuchspersonen jedoch mit dem stumpfen Winkel, lag die durchschnittliche Abweichung vom Ziel bei 1.25 Metern (Abbildung 20).

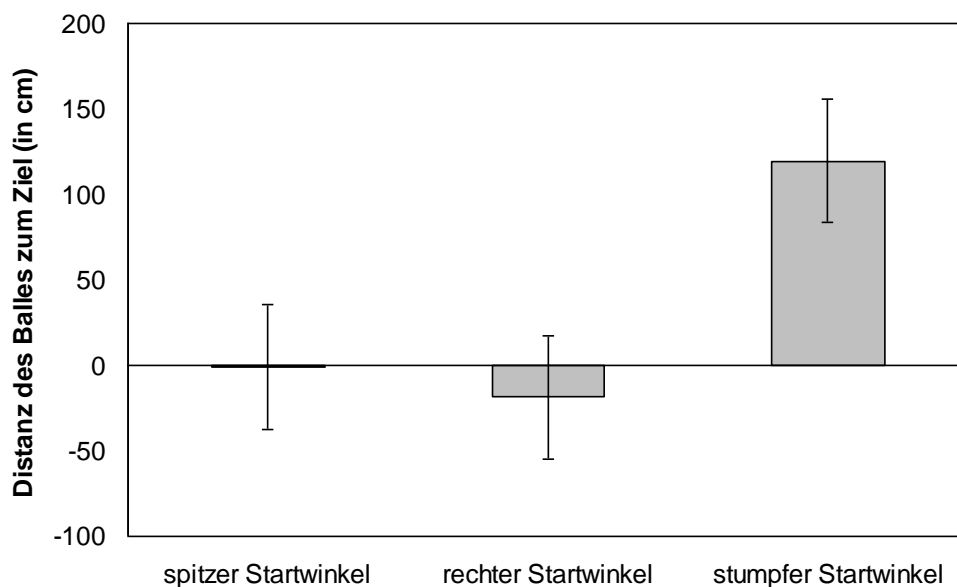


Abbildung 20 *Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Startwinkel. Spieler, welche mit dem spitzen Winkel begannen, sind über alle Ablenkungen gesehen am treffsichersten. Wird mit dem stumpfen Winkel begonnen, zeigt sich über alle Kopfbälle ein starkes Misskonzept.*

Analysiert man die Daten getrennt für die Startwinkel, also mit welchem Winkel die Spieler beginnen mussten, fällt ein interessanter Aspekt auf: Wurde mit dem stumpfen Winkel begonnen, war zwar der durchschnittliche Fehler über alle drei Winkel, wie eben beschrieben, am grössten. Betrachtet man jedoch ausschliesslich die drei Ablenkungen auf den stumpfen Winkel, so treffen diese das Ziel auf wenige Zentimeter genau. Dasselbe gilt für den rechten Winkel. Beim spitzen Winkel ist ein Trend dahingehend zu erkennen, der Fehler war im Durchschnitt jedoch nicht signifikant kleiner, wenn mit ebendiesem Winkel begonnen wurde (Abbildung 21). Mit anderen Worten erzielten die Spieler auf das Ziel in dem Winkel, in welchem sie ihren ersten Kopfball ausgeführt hatten, die besten Leistungen.

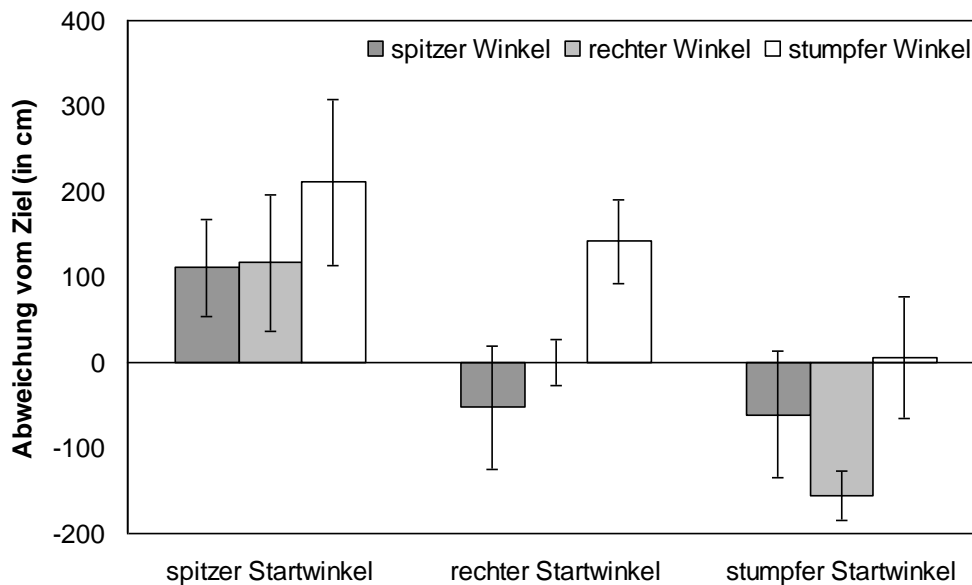


Abbildung 21 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Startwinkel und über die drei Zielwinkel. Das Ziel in dem Winkel, auf welchen der allererste Stoss abgegeben werden muss, wird, über alle Stösse gesehen, am besten getroffen.

Das naive Konzept konnte in Experiment 3 nur teilweise nachgewiesen werden. In diesem Fussball-Setting fällt auf, dass die Bälle oftmals auch in einem zu kleinen Winkel abgelenkt wurden; ein Umstand, der in den Tisch-Experimenten nie vorkam. Nur die Ablenkungen auf das Ziel im spitzen Winkel verfehlten dieses konsequent auf der weiten Seite. Ein eindeutiges Ausmass des naiven Konzepts, wie in der Post-Hoc-Analyse von Daum et al. (2008) sowie den Experimenten 1 und 2 wurde nicht festgestellt. Dennoch unterscheidet sich die Leistung pro Winkel wie in den vorhergehenden Versuchen signifikant. Das Ausmass der Abweichung vom Ziel war einerseits vom Winkel abhängig, in welchem das Objekt abgelenkt wurde (Zielwinkel), andererseits auch von dem Winkel, in welchem der erste Versuch abgelenkt werden musste (Startwinkel). Wurde mit stumpfem Winkel begonnen, war das Ausmass des naiven Konzepts in den nachfolgenden Versuchen am grössten. Ein solches Muster würde auch ein *Prinzip des ersten Feedbacks* prognostizieren: Der grösste Fehler tritt jeweils im Initialversuch auf, weshalb eine mögliche Adaptation auf den Startwinkel Sinn ergäbe. Dies scheint, wie in Experiment 2, darauf hinzudeuten, dass beim ersten Durchgang eine Art von

Kalibrierung geschieht: der Winkel, auf welchen kalibriert wird, ist im Anschluss für die Spieler leichter zu treffen.

3.5 Experiment 4: Kopfbälle mit Instruktion

Parallel zu Experiment 2 sollte in Experiment 4 untersucht werden, ob das naive Konzept mithilfe einer Instruktion beeinflusst werden kann. In Experiment 2 war die Wirkung der Instruktion abhängig von der Ballerfahrung der Teilnehmer. In Experiment 4 wurde diesem Umstand Rechnung getragen, indem Stichproben von Fußballspielern unterschiedlicher Stärkeklassen (Ligen) unter gleichen Bedingungen untersucht wurden. Die zielgenaue Kopfabnahme eines Fußballs verlangt Fertigkeiten und Erfahrungen, welche nicht bei allen Versuchspersonen vorausgesetzt werden können. Die Untersuchung von Personen ohne jegliche situationsspezifische Erfahrung war daher nicht möglich. Obwohl zwischen der Unterscheidung von Fußballspielern verschiedener Ligen und der Unterscheidung von Versuchspersonen mit verschiedener Ballerfahrung nur bedingt Parallelen bestehen, ist die Differenzierung dennoch vergleichbar. Spieler höherer Ligen trainieren in der Regel häufiger, vor allem jedoch kann davon ausgegangen werden, dass sie, ähnlich wie Personen mit Ballerfahrung in Experiment 2, vergleichsweise erfahrener und gewandter im Umgang mit einem bewegten Ball als Spieler unterer Ligen sind.

3.5.1 Instruktion

Die Instruktion für die Fußballspieler in Experiment 4 bestand aus zwei Teilen. Sie entsprach einer erweiterten Kombination der impliziten und expliziten Instruktionen aus Experiment 2 und wurde den Spielern auf dem Fußballfeld auf einem Laptop-Computer vorgeführt. Der erste Teil bestand aus dem Videofilm der impliziten Instruktion aus Experiment 2, worin zu sehen ist, wie eine Person einen von einer Rampe rollenden Golfball auf ein Ziel abzulenken versucht. Der Versuch war zunächst zweimal *erfolglos*, in dem der Stoss genau auf das Ziel ausgerichtet wurde und der Ball dieses somit auf der weiten Seite verfehlte. Danach wurde der Stoss zweimal *erfolgreich* vorgenommen, indem er auf einen kleineren Winkel, an der nahen Seite des Zieles vorbei, gerichtet und somit der Eigenimpuls des rollenden

Balles kompensiert wurde. Der zweite Teil dieser kombinierten Instruktion beinhaltete die physikalische Erklärung der Impulsintegration, wie sie bereits in Experiment 2 als explizite Instruktion verwendet wurde. Im Unterschied zu Experiment 2 wurde mithilfe grafischer Darstellungen das Prinzip erklärt, wie mittels *Verkürzung* des Winkels der Eigenimpuls des Balles kompensiert und dem Misskonzept entgegengewirkt werden kann⁸. Zusätzlich wurde den Spielern, welche eine Instruktion erhielten, dieses Prinzip während der Durchführung vor jedem Kopfball mündlich in Erinnerung gerufen.

3.5.2 Versuchsablauf

Der Versuchsablauf entsprach demjenigen von Experiment 3. Mit Hilfe eines Ballzuspielgeräts wurden aus einer Entfernung von 15 Metern Fussbälle mittlerer Geschwindigkeit in ca. 1,8 Metern Höhe in Richtung Elfmeterpunkt gespielt, von wo ihn die Teilnehmer mittels Kopfball auf die drei verschiedenen Ziele abzulenken hatten. Jedes Ziel musste dreimal angespielt werden, jeder Spieler hatte auf diese Weise neun Kopfbälle abzulenken. Die eine Hälfte der Spieler jeder Stichprobe führte diese Aufgabe, wie in Experiment 3, ohne zusätzliche Instruktion aus, lediglich die auszuführende Aufgabe wurde erklärt. Die andere Hälfte der Spieler erhielt die oben beschriebene Instruktion. Die Spieler wurden jeweils zu zweit zur Versuchsanlage gebeten, wo ihnen ihre Aufgabe und, je nach Gruppe, die Instruktion mitgeteilt wurde. Ein Spieler begann anschliessend mit der Übung, während der andere die Bälle einsammelte. Anschliessend wurde gewechselt. Waren beide Spieler mit der Übung fertig, integrierten sie sich wieder in den normalen Trainingsbetrieb und zwei weitere Spieler führten den Versuch durch.

⁸ Entspricht der Versuchspersonengruppe *informed and counteract* aus Courtney & Hubbard (2008).

3.5.3 Stichprobe 1: Fussballer 4. Liga

Die erste Stichprobe für Experiment 4 bildete die erste Mannschaft des Fussballclubs Mönchaltorf im Zürcher Oberland ($n = 17$). Dieses Team spielte zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung in der schweizerischen 4. Liga, welches dem zweituntersten Level auf Amateurniveau im Erwachsenenfussball entspricht.

3.5.3.1 Resultate Fussballer 4. Liga

Ein Vergleich der einzelnen Winkel ergab, dass nur die Versuche auf das Ziel im spitzen Winkel den Auswirkungen des naiven Konzepts unterlagen. Zwar unterschieden sich auch die Versuche auf den stumpfen Winkel signifikant von Null, jedoch in die entgegengesetzte Richtung (spitzer Winkel, $t(50) = 4.15$, $p < .001$; rechter Winkel, $t(50) = 10.75$, ns ; stumpfer Winkel, $t(50) = 2.22$, $p < .05$).

Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit Winkel (3) als Inner- und Instruktion als Zwischensubjektfaktor zeigte auch in dieser Stichprobe mit den Fussballspielern der 4. Liga, dass sich die drei Ziele (bzw. Winkel) signifikant unterschieden ($F(2, 30) = 9.72$, $p < .001$, $\eta^2 = .39$). Es trat dasselbe Muster wie in Experiment 3 auf: Kleinere Winkel erzeugten grössere Fehler im Sinne des naiven Konzepts, Ablenkungen auf das Ziel im stumpfen Winkel wurden sogar in einem zu kleinen Winkel abgelenkt (Abbildung 22).

Der Faktor Instruktion zeigte keinen signifikanten Effekt ($F(1, 15) = .48$, ns , $\eta^2 = .03$), ein Unterschied zwischen der Gruppe mit Instruktion und der Gruppe ohne Instruktion liess sich in der Leistung nicht feststellen. Bei Betrachtung der Standardfehler fällt jedoch auf, dass diese bei der Gruppe mit Instruktion kleiner ausfielen (siehe Tabelle 2 und Abbildung 22). Offenbar führte die Instruktion in dieser Stichprobe im Gesamtschnitt zwar (noch) nicht zu einer signifikanten Leistungssteigerung, der Rückgang des Standardfehlers deutet jedoch auf eine verminderte Streuung und Varianz in den Daten der Instruktions-Gruppe hin.

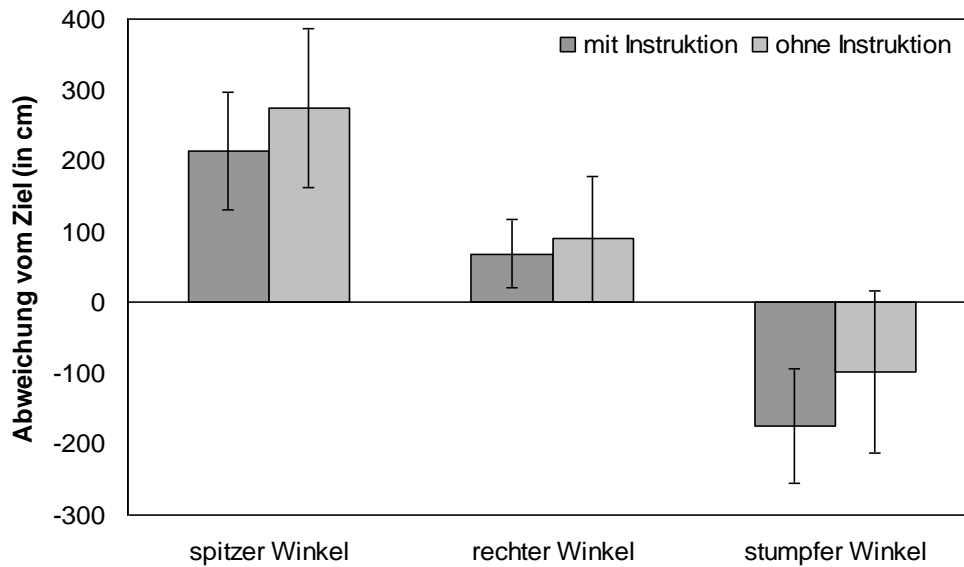


Abbildung 22 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Winkel und Instruktion. Ablenkungsversuche auf das Ziel im spitzen Winkel erzeugen den grössten Fehler im Sinne des Misskonzeptes, der rechte einen kleineren. Kopfbälle auf das Ziel im stumpfen Winkel werden sogar in einem zu kleinen Winkel abgelenkt.

Tabelle 2

Fehlermittelwerte und Standardfehler der Gruppen mit und ohne Instruktion in Experiment 4, Stichprobe 1 für die Ablenkungen auf die drei Zielwinkel.

Ablenkung Kopfbälle	mit Instruktion		ohne Instruktion	
	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>
Mittlere Distanz zum Ziel in cm				
spitzer Winkel	210	89	275	119
rechter Winkel	71	51	90	85
stumpfer Winkel	-181	88	-100	118

Die Ergebnisse sind mit denjenigen aus Experiment 3 vergleichbar. Das naive Konzept trat nur bei Ablenkungen auf Ziele im spitzen Winkel auf. Ablenkungen im rechten Winkel erzielten die besten Resultate, womit auch in diesem Experiment die *Präferenz des rechten Winkels* bestätigt wurde. Obwohl der Standardfehler und damit die Varianz unter Instruktion abnahm, scheint die Instruktion den Fussballern dieses Niveaus (oder Erfahrungsgrades), ähnlich wie in

Experiment 2 die ballunerfahrenen Teilnehmer mit impliziter Instruktion, keinen Vorteil in der Leistung zu verschaffen. Insgesamt agierten Spieler mit Instruktion jedoch konsistenter.

3.5.3.2 Diskussion Stichprobe 1 (Fussballer 4. Liga)

Zwischen den beiden Gruppen mit und ohne Instruktion wurde kein Leistungsunterschied gefunden. Dies kann verschiedene Ursachen haben. Die Ergebnisse von Experiment 2 haben gezeigt, dass ballerfahrene Teilnehmer von einer Instruktion in stärkerem Masse profitieren konnten als Ballunerfahrene. Nun stellt die Aufgabe, einen fliegenden Fussball mit dem Kopf auf ein Ziel zu lenken einen ungleich schwierigeren Auftrag dar als einen rollenden Golfball mit einem Schläger abzulenken. Der Schluss liegt daher nahe, dass diese Aufgabe für schwächere oder unerfahrene Spieler schlicht ein unüberwindbares Problem darstellt. Analog zu Experiment 2 besteht also die Möglichkeit der notwendigen Grundvoraussetzung gewisser Fähigkeiten oder Erfahrungen, um eine Instruktion gewinnbringend nutzen zu können. Diese Voraussetzungen scheinen für diese Stichprobe (Fussballspieler der 4.Liga) nicht erfüllt.

3.5.4 Stichprobe 2: Fussballer 3. Liga

Stichprobe 2 wurde von einer Mannschaft des Fussballclubs Oerlikon/Polizei in Zürich gebildet ($n = 9$), welche zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung in der schweizerischen 3. Liga spielte, also eine Liga höher als die untersuchte Mannschaft in Stichprobe 1.

3.5.4.1 Resultate Fussballer 3. Liga

Der zweiseitige T-Test zeigte für den spitzen Winkel in dieser Stichprobe knapp keinen signifikanten Effekt ($t(26) = 1.91, p = .07$). Auch beim rechten Winkel zeigte sich keine signifikante Abweichung von 0 ($t(50) = .07, ns$). Anders sah es beim stumpfen Winkel aus: Die Ablenkungen auf diesen Winkel wichen signifikant vom Ziel ab ($t(26) = 3.72, p < .001$). Die Varianzanalyse belegte, dass auch bei den

Fussballspielern der 3. Liga die Leistung in Bezug auf die drei Ziele differierte ($F(2, 14) = 11.35, p < .001, \eta^2 = .62$).

Im Gegensatz zu den Fussballern der 4. Liga übte die Instruktion in dieser Stichprobe einen signifikanten Einfluss auf die Leistung der Kopfbälle aus ($F(1, 3) = 12.83, p < .05, \eta^2 = .81$). Abbildung 23 zeigt den Einfluss der Instruktion.

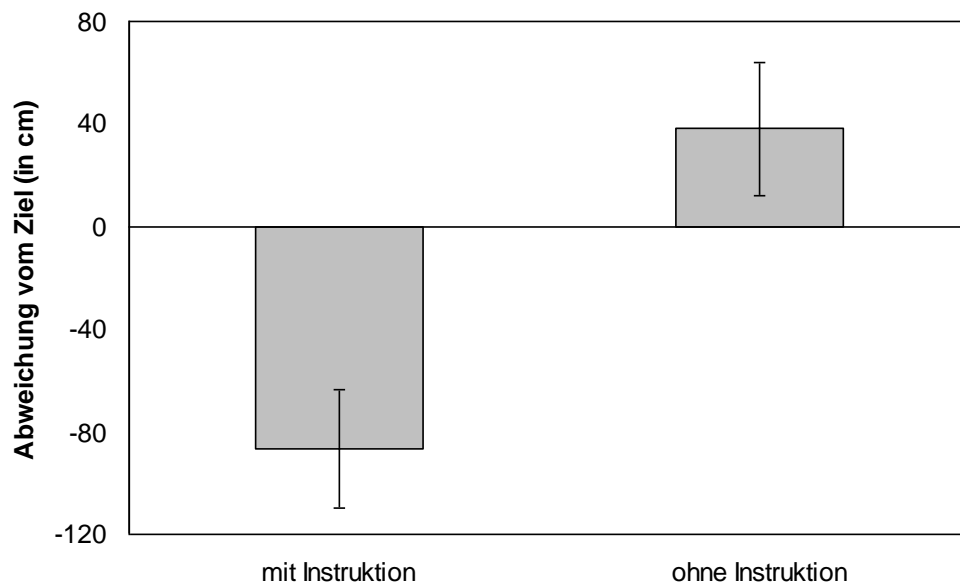


Abbildung 23 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Instruktion. Spieler mit Instruktion lenkten die Bälle konsistent in einem zu kleinen Winkel ab, Spieler ohne Instruktion zeigten das erwartete Misskonzept.

3.5.4.2 Diskussion Stichprobe 2 (Fussballer 3. Liga)

Betrachtet man Abbildung 23, fällt sofort auf, dass sich die beiden Instruktionsgruppen zwar unterschieden, die Gruppe mit Instruktion jedoch wider Erwarten *nicht* die besseren Resultate erzielte. Offenbar führte die Instruktion zu einer Überkompensation: Die Spieler folgten den Anweisungen, den Kraftstoss, in diesem Fall den Kopfball, in einem spitzeren Winkel auszuführen, als es dem eigentlichen Ziel entsprach. Dies sollte jedoch in Anpassung an die Geschwindigkeit geschehen, mit welcher sich der Ball vor der Ablenkung bewegte. Die Spieler der 3. Liga scheinen diese Tatsache ignoriert zu haben. Sie kompensierten zwar scheinbar den Winkel, jedoch ohne Anpassung an die Geschwindigkeit und somit den Impuls des Balles. Nicht nur, dass der mittlere

Fehler mit Instruktion deshalb nun in entgegengesetzter Richtung auftrat, auch ist die Abweichung vom Ziel weitaus grösser (87 cm) als ohne Instruktion (38 cm), wenn auch in die entgegengesetzte Richtung. Die Instruktion hatte also einen Einfluss auf das Verhalten: Die Spieler wendeten das ihnen erklärte Prinzip scheinbar an und richteten ihren Kraftstoss nicht mehr genau auf das zu treffende Ziel, sondern auf ein (virtuelles) Ziel in einem kleineren Winkel (siehe Abbildung 1). Dies allerdings noch ohne weitergehende Anpassung an die Geschwindigkeit des Balles. Obwohl die Aufgabe eindeutig formuliert war, die einzelnen Ziele möglichst punktgenau zu treffen, schienen die Akteure allein an der Instruktion festzuhalten. Ob der Grund dafür in mangelnden technischen Fertigkeiten oder aber fehlender kognitiver Flexibilität zu suchen ist, lässt sich abschliessend nicht eindeutig klären. Trotz Instruktion und erklärter Gegenstrategie scheint keine vollständige Einsicht in die Problemstellung und somit relevante Faktoren der Impulsintegration stattgefunden zu haben.

Es könnte argumentiert werden, dass die motorischen Fertigkeiten der Spieler dieser Stichprobe nicht ausreichten, um trotz konzeptueller Einsicht die Instruktion gewinnbringend nutzen zu können. Der Instruktionseffekt beweist jedoch, dass die Spieler zur spitzwinkligen Ballablenkung und somit Kompensation des Ballimpulses fähig waren. Es gibt deshalb keinen Grund, anzunehmen, dass die Spieler aufgrund ihrer technischen Limitation nicht in der Lage waren, die Bälle zielgenau abzulenken.

3.5.5 Stichprobe 3: Fussballer 2.Liga

Die dritte Stichprobe in Experiment 4 bestand aus zwei Mannschaften der beiden Fussballvereine Oerlikon/Polizei und Bluestars in Zürich ($n = 24$). Beide Mannschaften spielten zum Zeitpunkt der Erhebung in der schweizerischen 2. Liga, waren beinahe die ganze Saison Tabellennachbarn und beendeten die Meisterschaft schliesslich auf den Plätzen 2 und 3. Die Teilnehmer dieser Stichprobe spielten also wiederum eine Liga höher als diejenigen der Stichprobe 2.

3.5.5.1 Resultate Fussballer 2. Liga

Die Varianzanalyse zeigte auch bei dieser Stichprobe einen Haupteffekt des Winkels ($F(2, 40) = 17.97, p < .001, \eta^2 = .47$). Wie in den Experimenten zuvor zeigte sich beim spitzen Winkel das stärkste Ausmass des naiven Konzepts ($t(71) = 5.25, p < .001$). Mit dem Ziel im rechten Winkel hatten die Teilnehmer wiederum am wenigsten Probleme ($t(71) = .46, ns$), die Abweichungen vom Ziel sind minimal. Auch das Ziel im stumpfen Winkel wurde überzufällig verfehlt ($t(71) = -3.53, p < .01$), jedoch erneut nicht in Richtung des naiven Konzepts: Die Bälle verfehlten das Ziel im stumpfen Winkel nicht auf der weiten, sondern auf der nahen Seite. Bei getrennter Betrachtung der beiden Gruppen zeigte sich, dass Teilnehmer ohne Instruktion die Ziele im spitzen sowie im stumpfen Winkel überzufällig verfehlten (spitzer Winkel, $t(38) = 5.76, p < .001$; stumpfer Winkel, $t = 2.13, p < .05$; rechter Winkel, $t(38) = .68, ns$), wobei die grösste Abweichung im spitzen Winkel zu finden war. Mit Instruktion zeigte sich hingegen ausschliesslich beim stumpfen Winkel ein solcher Fehler (stumpfer Winkel, $t(32) = 3.13, p < .01$; spitzer Winkel, $t(32) = 1.97, ns$; rechter Winkel, $t(32) = .30, ns$).

Bei dieser getrennten Betrachtungsweise ist grundsätzlich eine geringere Abweichung bei der Gruppe mit Instruktion zu erkennen (ausser beim stumpfen Winkel, siehe Abbildung 24). Interessant ist, dass die Instruktion beim spitzen Winkel (dort, wo das grösste Misskonzept bestand) den grössten Nutzen bewirkte. Während die Gruppe ohne Instruktion in diesem Versuch das Ziel im spitzen Winkel um durchschnittlich 2.5 Meter verfehlte, betrug der Fehler bei der Instruktions-Gruppe nur rund 1 Meter.

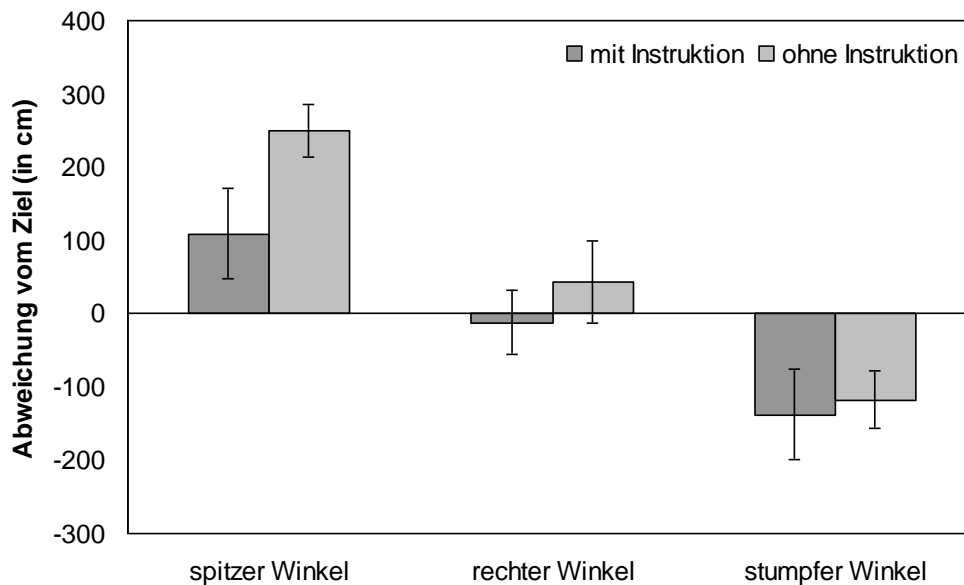


Abbildung 24 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Winkel und Instruktion.

Separate Varianzanalysen für die beiden Instruktionsgruppen ergaben für beide Gruppen einen signifikanten Haupteffekt des Winkels (Instruktionsgruppe, $F(2, 18) = 4.70$, $p < .05$, $\eta^2 = .34$; ohne Instruktion, $F(2, 22) = 15.82$, $p < .001$, $\eta^2 = .59$). Jedoch lag die mittlere kumulierte Abweichung der Fehler bei der Gruppe mit Instruktion mit rund 2.58 Metern (spitzer Winkel, 109 cm; rechter Winkel, -12 cm; stumpfer Winkel, -137 cm) tiefer als bei der Gruppe ohne Instruktion mit 4.12 Metern (spitzer Winkel, 250 cm, rechter Winkel, 44 cm, stumpfer Winkel, -118 cm). Die Instruktion führte offensichtlich zu einer Nivellierung in die erwünschte Richtung.

3.5.5.2 Diskussion Stichprobe 3 (Fussballer 2. Liga)

Der Einfluss der Instruktion wurde auch in dieser Stichprobe bestätigt. Die beiden Gruppen mit und ohne Instruktion differierten überzufällig ($F(1, 20) = 4.85$, $p < .05$, $\eta^2 = .20$). Abbildung 25 zeigt die durchschnittlichen Werte über alle drei Winkel und macht deutlich, wie sich die Gruppen voneinander unterschieden: Die Gruppe mit Instruktion verfehlte das Ziel durchschnittlich um 18 cm, was nur etwa zwei Dritteln eines Balldurchmessers entspricht. Diese kleine Abweichung lag nicht auf der weiten, sondern auf der nahen Seite des Tores. Bei der Gruppe ohne Instruktion betrug die durchschnittliche Distanz zum Ziel 64 cm, welches dem

dreieinhalbfachen Wert der anderen Gruppe entspricht. Gemäss dem naiven Konzept, jedoch im Gegensatz zu der Gruppe mit Instruktion, kam dieser Fehler denn auch auf der weiten Seite des Zieles zu liegen (Abbildung 25). Dieser einfache Instruktionseffekt ist erstaunlich, wenn man bedenkt, dass die Instruktion nur etwa eine Minute dauerte und keine Informationen enthielt, welche die Spieler nicht wenigstens im Prinzip schon einmal erfahren hatten.

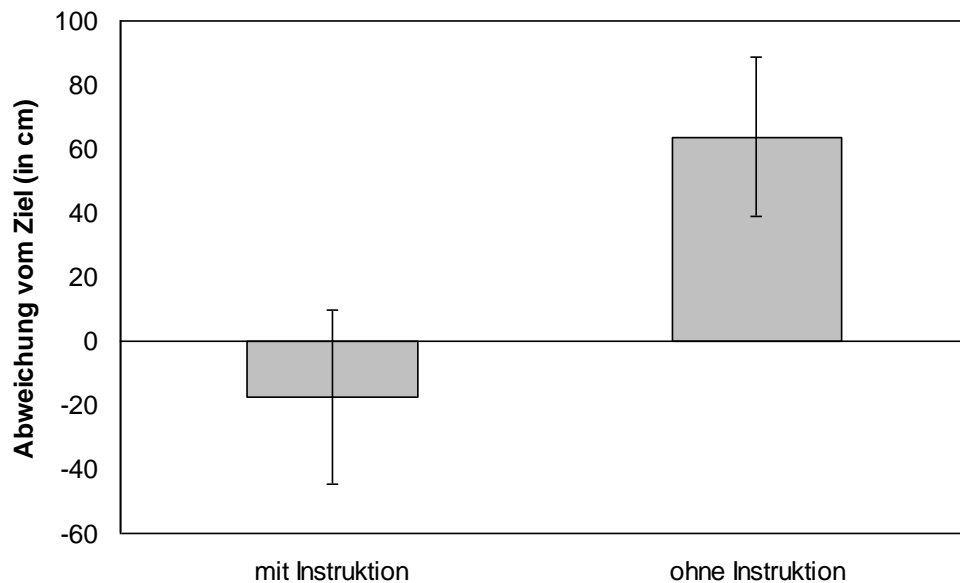


Abbildung 25 Mittlere Abweichung (in cm) der abgelenkten Bälle vom Ziel nach Instruktion. Spieler mit Instruktion lenken die Bälle nach der Instruktion praktisch punktgenau ab, ohne Instruktion besteht das Misskonzept noch immer.

3.5.6 Diskussion Experiment 4

Bei den von Daum et al. (2008) berichteten Resultaten waren die zugrundeliegenden exakten Zielpunkte der Kopfbälle unbekannt, eine Diskrimination der Winkelsensibilität war daher nicht möglich. Die Resultate der Experimente 3 und 4 weisen nun nur für Ablenkungen auf Ziele im spitzen Winkel den systematischen Effekt der auf der weiten Seite verfehlten Bälle aus. Wie in Experiment 2 zeigte sich in den Experimenten 3 und 4 ein Performanzvorteil bei Ablenkungen auf das Ziel im rechten Winkel. Zudem war auch in den Experimenten mit Fussballspielern die Wirkung der Instruktion von der Erfahrungs- oder Expertenstufe abhängig. Auch wenn die geringere Varianz der

Instruktionsgruppe in Stichprobe 1 ein Hinweis auf eine mögliche Verarbeitung sein könnte, konnten die Spieler die erhaltene Information offenbar nicht in eine messbare Verhaltensänderung umsetzen. Bei Spielern aus einer um eine Stufe höheren Liga konnte ein eindeutiger Effekt der Instruktion festgestellt werden. In dieser Gruppe liess jedoch die gemessene Überkompensation keine konzeptuelle Einsicht erkennen. Erst Spieler einer noch höheren Erfahrungsstufe konnten das Misskonzept überwinden und die Instruktion dahingehend integrieren, dass die Ziele einerseits im Durchschnitt genauer getroffen wurden und andererseits die gemessenen Abweichungen der drei Ziele auf beide Seiten signifikant geringer ausfielen als bei den Spielern, welche keine Instruktion erhielten. Für die vollständige Überwindung des Misskonzepts war also neben einer kombinierten Instruktion auch ein gewisses Fähigkeits- und Erfahrungsniveau notwendig.

4 Allgemeine Diskussion

Die wichtigsten Befunde dieser Arbeit sollen in diesem Kapitel noch einmal dargelegt und in Bezug zu den in der Einleitung aufgeworfenen Fragen diskutiert werden. Im Weiteren wird die Bedeutung der vorliegenden Ergebnisse bezüglich der bisherigen Forschung interpretiert und deren mögliche Auswirkungen diskutiert.

Das von verschiedenen Autoren (Daum et al., 2008; DiSessa, 1982; McCloskey, 1983; McCloskey & Kohl, 1983; Mohr, 2001; White, 1984) beschriebene und als *Misskonzept* bezeichnete Phänomen trat in allen Experimenten dieser Arbeit auf: Menschen unterschätzen oder ignorieren den Eigenimpuls bewegter Objekte und richten beim Versuch einer zielgenauen Ablenkung den Kraftstoss vorwiegend exakt in Richtung des Ziels. Dies führt dazu, dass die Objekte in einem zu grossen Winkel abgelenkt werden und das anvisierte Ziel schliesslich auf der weiten Seite verfehlen. Dieses naive Konzept tritt über viele Bedingungen und unter verschiedenen Rahmenbedingungen auf, es zeigt sich bei Experten genauso auf wie bei Novizen, wenn auch in geringerem Ausmass. Es konnte erstmals gezeigt werden, dass dieses Konzept nicht per se besteht und in jeder Situation dem gleichen prototypischen Muster folgt, sondern sensibel auf Veränderungen des Ablenkungswinkels reagiert: In allen vorliegenden Experimenten unterscheiden sich die drei Winkel in systematischer Weise.

Die Ergebnisse dieser Arbeit belegen eine deutliche *Präferenz des rechten Winkels* (Ausnahme Experiment 1, siehe Abschnitt 3.2.3.6, Diskussion Experiment 2). Mussten die Bälle in einem Winkel von 90° abgelenkt werden, trafen diese wesentlich häufiger das Ziel als Ablenkungen auf Ziele in spitzen oder stumpfen Winkeln. Unsere Welt ist geprägt von rechten Winkeln. Wir wohnen, arbeiten, spielen oder schlafen meist in rechtwinkligen Gebäuden, Betten und Feldern. Eine (nicht nur) visuelle Präferenz für Ausrichtungen von 90° erstaunt schon alleine deshalb nicht. Aus den Neurowissenschaften ist ausserdem bekannt, dass viele Neuronen im visuellen Kortex selektiv auf Linien und Kanten in ganz bestimmter Orientierung reagieren (Howe & Purves, 2004; Hubel & Wiesel, 1959, 1962). Es würde deshalb nicht überraschen, wenn sich Neuronen zur spezifischen Erkennung rechter Winkel ausgebildet hätten, ist unsere Umwelt doch von rechten Winkeln geprägt; Häuser, Türen, Felder, unabhängig vom Standort begegnen uns Objekte mit rechtwinkliger Prägung.

Zudem stellt die Ablenkung in einem rechten Winkel eine prototypische Situation für eine Richtungsänderung dar, welche zwischen 0° und 180° betragen kann. Es scheint, als würde die Ablenkung auf 90° prototypisch repräsentiert und für andere Winkel situativ angepasst. Aufgrund der Tatsache, dass die Leistung bei Ablenkungen in spitzem und stumpfem Winkel je nach Bedingung unterschiedlich, im rechten Winkel jedoch konstant ist, und dass Ablenkungen im rechten Winkel keinem Zeitdruck-Effekt unterlagen, untermauert die Annahme einer *Präferenz des rechten Winkels*. Dieses Prinzip könnte auf einem adaptiven Mechanismus beruhen oder aber in Konkurrenz zu einem anderen stehen.

Genau wie intuitive Annahmen zur Impetustheorie die schnelle Extrapolation der Bewegung von Objekten erlauben, könnten uns heuristische Annahmen nach dem Prinzip „die Kraft eines Stosses genau auf das Ziel richten“ angemessene Einschätzungen zur Impulsintegration mit geringen Aufmerksamkeitsressourcen liefern. Heuristiken gelten in der Psychologie als erlernte einfache, effiziente Regeln. Sie kommen insbesondere in komplexen Situationen zum Zuge, in welchen die Integration der vollständigen Information aufgrund zeitlicher oder anderer ressourcenbedingter Restriktionen verunmöglicht ist (Gigerenzer & Todd, 1999). Obwohl solche Vorgehensweisen Fehleinschätzungen und -verhalten nach sich ziehen können, führen Heuristiken dennoch oft zu einer befriedigenden Problemlösung. Die vorliegenden Daten können die Vermutung nicht ausschliessen, dass bei Ablenkungen solcher Art Heuristiken zum Zuge kommen, welche obgenannten Regeln folgen.

Ein weiteres Indiz für eine heuristische Problemlösung ist die Abhängigkeit der Auswirkung von Instruktionen vom vorgegebenen Zeitdruck. Stand genügend Zeit zur Verfügung, nahm die Leistung nach einer Instruktion grundsätzlich zu (wobei keine vollständige Eliminierung des Misskonzepts stattfand). Unter Zeitdruck hingegen wirkten Instruktionen kontraproduktiv (Experiment 2), rein intuitive Ablenkungen führten zu der besten Leistung.

In diesem Zusammenhang sind die Ergebnisse der Experimente mit impliziter Instruktion von Bedeutung. In Experiment 2 erzielten einerseits Teilnehmende mit impliziter Instruktion und ohne Zeitdruck die besten Ergebnisse, andererseits wurden Lerneffekte über mehrere Durchgänge nur in der Gruppe mit ebendieser Instruktion festgestellt. Geht man von einem adaptiven Mechanismus

aus, erscheint eine adäquatere Anpassung durch nonverbale als verbale Informationen einleuchtend, beruhen intuitive Mechanismen und Heuristiken doch ebenfalls auf nicht verbalisierbaren Regeln. Dass explizite Informationen automatisierte oder heuristische Bewegungsabläufe stören könnten, geht ausserdem mit Erklärungsvarianten des *Choking under pressure* (siehe Abschnitte 2.1.7 und 2.1.8) einher, wonach diese Störung durch den Versuch verursacht wird, explizite Regeln in einen automatisierten Bewegungsablauf zu integrieren. Obwohl dieses Phänomen nicht als (einzige) Erklärung für das von Daum et al. (2008) beschriebene Phänomen gelten kann, bleibt die Möglichkeit seines Einflusses dennoch bestehen. In Bezug auf die in Abschnitt 2.1.4 angesprochene Debatte der *Internalisation und Externalisation* deuten die vorliegenden Resultate nicht auf eine Internalisation im engeren Sinne (z.B. Shepard, 2001) hin: Die vorliegenden Resultate können durch impetustheoretische Überlegungen in heuristischer oder systematischer Anwendung besser beschrieben werden, was eher auf die von Hecht (2001) beschriebene Externalisation hinweist. Wie bei anderen Autoren zuvor (Kaiser et al., 1986; Kaiser et al., 1992), können die vorliegenden Daten allerdings die Annahme, dass die Teilnehmenden in ihren Handlungen einer konsistenten Bewegungstheorie folgten, nicht bestätigt werden. Vielmehr scheinen die Ergebnisse unterschiedliche Bewegungsmodelle widerzuspiegeln, die sich in Performanzunterschieden variierter Bedingungen, Kontexte und Instruktionen zeigen. Impetustheoretische Konzepte scheinen neben anderen (auch normativ korrekten) zu existieren und in heuristischen Verfahrensweisen zum Ausdruck zu kommen.

Die *Tilt Illusion* (z.B. Gibson, 1937; siehe Abschnitt 2.1.10, Abbildung 2) veranschaulicht das bereits von Wundt (1862) beschriebene Phänomen, dass Menschen in Wahrnehmung und Handlung dazu neigen, spitze Winkel als grösser und stumpfe Winkel als kleiner zu interpretieren, als sie in Wirklichkeit sind. Bezogen auf die Ballablenkung bedeutet dies, dass ein Ball auf einen als zu gross wahrgenommenen spitzen Winkel in einem zu stumpfen Winkel abgelenkt würde. Umgekehrt müsste, bei einer Ablenkung in stumpfem Winkel, der Ball in zu kleinem Winkel abgelenkt werden. Genau dieses Bild zeichnen die Ergebnisse der Experimente 3 und 4: Die Tilt-Illusion wurde quasi in einer Handlungsaufgabe bestätigt.

Die Ergebnisse dieser Arbeit verdeutlichen, dass menschliche Konzepte über Bewegungsbahnen nicht komplett adäquat sind. Es bestehen ebenfalls kaum Zweifel an der Tatsache, dass Kontext- und Rahmenbedingungen als wichtige Einflussgrößen bei der Bewertung und Schätzung von Flugbahnen anzusehen sind (Catrambone et al., 1995; Cooke & Breedin, 1994; Kaiser et al., 1986). Dies wurde in dieser Arbeit ein weiteres Mal nachgewiesen. Davon zeugen die unterschiedlichen Ergebnisse der Ablenkungen in den Laborversuchen, je nachdem, ob die Teilnehmenden die Bälle *in* oder *aus* einem bestimmten Winkel gleicher Grösse abzulenken hatten (*Anlaufwinkel* vs. *Zielwinkel*, Experimente 1 und 2) und sich insbesondere für rechte Winkel grosse Unterschiede ergaben. Würde die rein physikalische Grösse eines Winkels über die Einschätzung und entsprechende Ablenkung entscheiden, dürften dahingehend keine Unterschiede auftreten.

Cooke und Breedin (1994) gehen davon aus, dass Einschätzungen und Erklärungen von Bewegungsbahnen *ad hoc* gebildet werden, dies jedoch unter Berücksichtigung einer Auswahl von Problemcharakteristiken und Wissensfragmenten. Laut DiSessa (1988) besitzen Menschen so etwas wie "...a fragmented collection of ideas, loosely connected and reinforcing, having none of the commitment or systematicity that one attributed to theories" (S. 50). Dennoch kann die Annahme von Kozhevnikov und Hegarty (2001) nicht ausgeschlossen werden, dass Urteile und Handlungen in Aufgaben zur intuitiven Physik zusätzlich dem systematischen Glauben an Bewegungsverhalten unterliegen, welche impetustheoretischen Annahmen entsprechen. Diese Autoren gehen davon aus, dass Menschen bei der Einschätzung von Flugbahnen auf spezifische Erfahrungssituationen zurückgreifen. In Bereichen wo dies nicht gelingt, gelangen der Impetustheorie ähnliche Konzepte zur Anwendung. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stützen diese Annahme. Ballerfahrene Teilnehmer schneiden in den Versuchen besser ab als ballunerfahrene. Die Daten zeigen ausserdem, dass die erfahrenen Fussballspieler die Auswirkungen des naiven Konzepts zwar minimiert, jedoch nicht eliminiert haben. Durch Instruktion liess sich denn auch eine weitere Verbesserung erreichen. Dies bedeutet, dass das Ausmass des Misskonzepts durch genügend spezifische Erfahrung und Instruktion revidierbar ist. Die Tatsache, dass professionelle Fussballer in der Post-Hoc-Studie von Daum et al. (2008) ebenfalls ein starkes Misskonzept zeigten legt nahe, dass in einer Situation, in welcher potentiell störende Einflüsse (wie beispielsweise Zeitdruck) hinzukommen, auch

Experten auf eine heuristische Anwendung impetustheoretischer Konzepte zurückfallen. Ein solches Konglomerat korrekter Newtonscher sowie inkorrekt, auf dem Impetus beruhender Ideen wurde schon früher beschrieben (DiSessa, 1982, 1983, 1988; Ranney, 1994). Diese Annahmen widersprechen denn auch nicht der Vermutung einer heuristischen Problemlösung. Es entspricht zudem den Folgerungen von Kozhevnikov und Hegarty (2001), wonach Impetuskonzepte auf perzeptueller Ebene bei Novizen wie auch Experten bestehen, letztere diese jedoch auf konzeptueller Ebene meistens erfolgreich zu unterdrücken vermögen.

Kaiser et al. (1985) äusserten in Bezug auf den *straight-down belief* die Vermutung, dass dieser nur durch formale Instruktion überwunden werden könne. Die Ergebnisse aus den Tischversuchen legen eine ähnliche Annahme nahe. Die Instruktionen führten zwar nicht zu einer vollständigen Überwindung des naiven Konzepts, aber dennoch zu einer signifikanten Verbesserung der Leistung. Dieser Lerneffekt ist jedoch von verschiedenen Faktoren abhängig: von der Ballerfahrung, der Art der Instruktion (implizit/explicit) sowie von der Startbedingung. In den Experimenten auf dem Fussballfeld bewirkte die Instruktion bei den erfahrensten Fussballern gar eine vollständige Überwindung des zuvor gefundenen naiven Konzepts. Aufgrund der vorliegenden Daten muss die Annahme, dass das naive Konzept alleine aufgrund perzeptiver Kontraevidenz revidiert werden kann, abgelehnt werden. Die Ergebnisse aus den Experimenten 3 und 4 lassen diese Annahme zumindest fragwürdig erscheinen, ansonsten dürfte in Stichproben von erfahrenen Fussballspielern ein solches Konzept nicht mehr auftreten. Eine vollständige Überwindung des naiven Konzepts stellt sich erst nach einer Kombination aus formaler und impliziter Instruktion ein. Fehlende Vertrautheit mit der Situation kann, zumindest aufgrund der Ergebnisse der Experimente 3 und 4, ebenfalls nicht als Erklärung angeführt werden.

Die konsistente (positive) Auswirkung der Instruktion stellt die Annahme der Nichtrevidierbarkeit naiver Konzepte in Frage (z.B. Bertamini & Casati, 2009). Dabei darf nicht vergessen werden, dass keine der Instruktionen die Dauer von 60 Sekunden überstieg. Es ist anzunehmen, dass ausführlichere Instruktionen eine weitere Performanzsteigerung zur Folge hätten.

Aus Experimenten zur Einschätzung von Bewegungsbahnen ist bekannt, dass das explizite Urteilswissen oftmals hinter dem impliziten perzeptiv-motorischen Wissen zurückbleibt (siehe Abschnitt 2.1.3). Das explizite Wissen der

Teilnehmenden über Bewegungsbahnen wurde in den vorliegenden Versuchen nicht erhoben, dennoch scheint auch in diesem Zusammenhang die grössere Leistungssteigerung nach der impliziten als nach der expliziten Instruktion in Experiment 2 darauf hinzudeuten, dass die erfolgreicherer Ablenkungen ballerfahrener Teilnehmer auf perzeptiv-motorischem Wissen beruhen. Auch die konsistent besseren Leistungen bei grösserer Ballerfahrung sowie die unter Abschnitt 3.2.3.6 besprochenen Auswirkungen der Instruktionen legen die Vermutung nahe, dass Versuche zur Veränderung oder Überwindung solcher Misskonzepte über den perzeptiv-motorischen Anteil des intuitiven physikalischen Wissens angesteuert werden sollten.

Ansätze der Embodied Cognition gehen davon aus, dass Wissen über Bewegungen und Objekte in sensomotorischen Erfahrungen begründet ist⁹. Vor diesem Hintergrund kann das Ergebnis, dass Ballerfahrene in allen Versuchen dieser Arbeit besser abschneiden als -unerfahrene, kaum erstaunen. In die gleiche Richtung deutet der Befund, dass Fussballspieler höherer Klassen die Instruktion gewinnbringend integrieren können. Verschiedene Autoren postulieren, dass Wissen über (bewegte) Objekte unter anderem in Zusammenhang mit sprachabhängigen Repräsentationen und semantischen Informationsprozessen stehe (z.B. Creem & Proffitt, 2001). Anhaltspunkte dafür liefern Verhaltensstudien (Lindemann, Stenken, van Schie, & Bekkering, 2006) sowie Versuche mit bildgebenden Verfahren (Canessa et al., 2008). Diese legen nahe, dass semantische Information über den Umgang mit Objekten während der Ausführung und Beobachtung objektbezogener Handlungen aktiviert wird. Umgekehrt darf angenommen werden, dass eine explizite, verbale Information über ein Objekt handlungsrelevante Systeme aktivieren und so zu einer Verbesserung der Leistung führen kann. Die nur geringe Performanzsteigerung und der kaum ausgeprägte Lerneffekt durch die explizite Instruktion lassen jedoch vermuten, dass die semantische Information dieser Instruktion eine nur schwache Wirkung erzielte. Andererseits zeigen Studien, dass motorische Areale im Gehirn aktiviert werden, wenn der Gebrauch von Werkzeug beobachtet wird (z.B. Chao & Martin, 2000). Diese Aktivierung ist wiederum abhängig von der eigenen Erfahrung mit diesen

⁹ Für Übersicht und Besprechung siehe Barsalou (2008) sowie Fischer & Zwaan (2008).

Objekten (Kiefer, Sim, Liebich, Hauk, & Tanaka, 2007). Bei der Betrachtung des Videofilms der impliziten Instruktion, in welchem eine Person mittels eines *Werkzeugs* (Schläger) Bälle ablenkt, könnten demnach Hirnareale aktiviert worden sein, welche die Leistung begünstigten.

Wie andere Handlungsstudien zuvor (z.B. Hecht & Bertamini, 2000; Mohr, 2001), zeigte sich auch in den vorliegenden Experimenten ein starker Zusammenhang zwischen der Erfahrung und der Leistung. Ballerfahrene Probanden waren jenen ohne diese Erfahrung überlegen. Dies steht im Widerspruch zu Hecht und Proffitt (1995), deren Versuchsergebnisse jedoch auf einem *Water-level Task* beruhen. Die vorliegenden Befunde sind vielmehr als Ergänzung zu Riener, Proffitt und Salthouse (2005) zu sehen, deren Resultate zum positiven Zusammenhang von Erfahrung und Leistung um die Komponente der Impulsintegration erweitert werden kann (siehe Abschnitt 2.1.6). Bei den Versuchen auf dem Fussballfeld zeigte sich jedoch, dass spezifische Erfahrung alleine nicht ausreicht: Auch in der Gruppe der erfahrensten Spieler war eine Instruktion mit Erklärung der Gegenstrategie für die Überwindung des naiven Konzepts notwendig.

In den Experimenten 1 und 2 traten Geschlechtseffekte auf, welche einer kurzen Erklärung bedürfen. Männliche Teilnehmer schnitten in den Tests signifikant besser ab als weibliche. Geschlechtsunterschiede zugunsten des männlichen Geschlechts in räumlichen Fähigkeiten und Aufgaben zur intuitiven Physik wurden in Studien und Metaanalysen bereits mehrfach dokumentiert (z.B. Kalichman, 1988; Krist et al., 1996; Linn & Petersen, 1985; Riener et al., 2005; Robert & Tanguay, 1990; Voyer, Voyer, & Bryden, 1995), die grössten Effekte treten bei *Mental Rotation Tests* (Vandenberg & Kuse, 1978) auf. Allerdings standen auch diese Ergebnisse in der Regel in starker Beziehung zu der Erfahrung mit relevanten Aspekten der Aufgabe. In einem Experiment konnten Voyer, Nolan und Voyer (2000) aufzeigen, dass die Leistung in räumlichen Tests im Erwachsenenalter von in der Kindheit bevorzugten Spielen und Spielsachen abhängig ist. Leistungen in einem *Mental Rotation Test* sowie in einem *Water-level Task* zeigten signifikante Unterschiede zwischen Personen, die als Kind eher räumliche Spielsachen (wie z.B. Bauklötze, Spielzeugautos, Modellbau usw.) und solchen, die eher nicht-räumliche Spielsachen (z.B. Puppen und Actionfiguren, Brettspiele usw.) bevorzugten. Normalerweise spielen Mädchen und Jungen nicht

mit denselben Spielsachen, sind nicht in dieselben Aktivitäten involviert (Newcombe, Bandura, & Taylor, 1983) und haben auch deshalb unterschiedliche Erfahrungen mit räumlichen Aufgaben und Prozessen (Baenninger & Newcombe, 1995). Dieselben Autoren konnten in einer Metaanalyse zeigen, dass die Leistung in räumlichen Tests positiv mit räumlicher Aktivität korreliert und dass ein spezifisches Training die Leistung in räumlichen Tests verbessert, und zwar für beide Geschlechter (Baenninger & Newcombe, 1989; Newcombe et al., 1983). Dies scheint darauf hinzudeuten, dass Geschlechtsunterscheide in räumlichen Aufgaben tatsächlich das Resultat unterschiedlicher Erfahrungen und Teilnahme an räumlichen Aktivitäten sein könnten. Erfahrung bzw. ‚Training‘ scheint demnach positiv auf die spätere Ausführung räumlicher Aufgaben zu wirken. Der Befund, dass Ballerfahrene in den Laborversuchen besser abschnitten als Unerfahrene, geht in dieselbe Richtung.

Verschiedene handlungsbasierte Theorien zu räumlichem Wissen und Vorstellungsvermögen schreiben dem Lernen und der Erfahrung zentrale Bedeutung zu. Sie postulieren, dass Menschen (wie auch Tiere) über aktives Ergründen und die Entwicklung motorischer Fertigkeiten euklidische Repräsentationen der Umwelt erschaffen (z.B. Piaget, 1952; Spencer, Smith, & Thelen, 2001). Der vorliegende Befund scheint am ehesten die Ergebnisse von Voyer et al. (2000) zu stützen. In den Experimenten 1 und 2 wurde nur die selbstberichtete Ballerfahrung erhoben, nicht jedoch das Fähigkeitsniveau in einer bestimmten Sportart. Denn obwohl grössere Erfahrung in einer Tätigkeit wohl oft mit entsprechend höherem Fähigkeitsniveau einhergeht, stellt dies keine notwendige Bedingung dar. Hecht und Bertamini (2000) fanden in ihren Studien zur Einschätzung von Flugbahnen weder einen signifikanten Einfluss des Geschlechts noch der sportlichen Erfahrung. Allerdings, und dies gilt ebenso für die Studien von Voyer et al. (2000) sowie Hult und Brous (1986), beruhen all diese Ergebnisse auf Papier-Bleistift-Versuchen. Im Gegensatz dazu waren die Versuche in dieser Arbeit als reine Handlungsaufgaben konzipiert. Der Grund für die gegenteiligen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit könnte demnach in der Dissoziation zwischen Urteils- und Handlungswissen zu finden sein (siehe Abschnitt 2.1.3). Die vorliegenden Ergebnisse der Handlungsaufgaben bestätigen sowohl für die selbstberichtete Ballerfahrung als auch für das Geschlecht ihren Einfluss auf die

Performanz. In den Versuchen auf dem Fussballfeld hingegen spiegelte die Unterscheidung der Stichproben wohl eher das *Fähigkeits-* als das *Erfahrungsniveau* wider, die Leistung in den Versuchen nahm parallel zur Leistungsstufe zu.

Die Untersuchungen von Daum et al. (2008) haben gezeigt, dass selbst professionelle Fussballspieler bei Kopfablenkungen einem Misskonzept unterliegen. Die vorliegende Arbeit liefert nun direkte Implikationen für den Umgang mit Kopfstössen. Situationsspezifische Erfahrung wirkte sich auf die Leistung aus, wobei einfache Erfahrung in der Ballablenkung durch Kopfstoss nicht ausreichend war. Um dem Misskonzept bei Kopfbällen entgegenzutreten, wären demnach (1) Trainingssituationen, in denen Bälle ganz bewusst auf Ziele in unterschiedlichen Winkeln abgelenkt werden müssen, angezeigt. Aufgrund der Ergebnisse zur impliziten Instruktion besteht im Weiteren (2) die Möglichkeit, durch Demonstration des Bewegungsablaufs eines gelungenen Kopfballs eine weitere Performanzsteigerung zu erreichen. Zudem könnte (3) gemäss dem *Prinzip des ersten Feedbacks* eine solche durch negative Rückmeldung sogar stärker ausfallen als durch positive.

5 Optimierungen und Ausblick

Unter Instruktionen werden, streng genommen, Handlungsanweisungen verstanden, welche beschreiben, in welcher Weise spezifische Aufgaben auszuführen sind. Bei der in dieser Arbeit verwendeten *impliziten Instruktion* kann jedoch nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass alle Teilnehmenden die betrachteten Filmsequenzen einheitlich als Erklärung und Handlungsaufforderung für die im Anschluss stattfindenden Aufgaben verstanden. Im Vorfeld des Experiments 2 wurde den Teilnehmenden denn auch nur mitgeteilt, dass die Sequenz „betrachtet“ werden sollte. Vielleicht sollte in diesem Zusammenhang eher von *impliziter Information* gesprochen werden. Für die vorliegenden Ergebnisse fällt diese Unterscheidung nicht besonders ins Gewicht, da auch die Kontrollgruppen ausser der Aufforderung, den Ball auf jeweils ein konkretes Ziel abzulenken, keine konkreten Handlungsanweisungen erhielten. Bei der Verallgemeinerung der Ergebnisse auf andere Befunde zu impliziten Instruktionen und deren Vergleichbarkeit ist jedoch Vorsicht geboten. In der Literatur finden sich denn auch kaum einheitliche Normen zu Instruktionen impliziter Natur.

Bei den Versuchen auf dem Fussballfeld sollten die Spieler die Kopfabnahmen etwa auf Höhe des Elfmeterpunktes ausführen. Aufgrund der Komplexität der Aufgabe, einen mit hoher Geschwindigkeit heranfliegenden Ball mittels Kopfball abzulenken und der Dynamik der Bewegungsausführung lagen intra- wie interindividuelle Unterschiede des genauen Ortes der Ablenkung in der Natur der Sache. Es ist gut möglich, dass die Ergebnisse deutlicher ausfallen würden, wenn die Möglichkeit zur strikten Kontrolle des exakten Ablenkungsortes bestehen würde. Eine solche würde jedoch den individuellen Bewegungsmustern der Spieler beim Kopfball zuwiderlaufen.

Ähnliches kann zu den Ablenkungswinkeln in den Experimenten auf dem Fussballfeld gesagt werden. Aus Motivations- und Vergleichsgründen sollten die zu treffenden Ziele innerhalb eines üblichen Fussballtores liegen. Die Ziele im spitzen und stumpfen Winkel lagen deshalb nicht in genau parallel zu den Laborversuchen gleichen Winkeln von 35° und 145° , sondern lagen näher beieinander. Es besteht die Möglichkeit, dass eine analoge Winkeldiskrimination wie im Laborversuch zu leicht anderen Ergebnissen führen könnte. Da sich die Leistung der Ablenkungen

auf die drei Winkel jedoch signifikant unterschied, wären auch unter den beschriebenen Umständen keine komplett anderen Resultate zu erwarten.

Die Unterscheidung der Güte von Fußballspielern über unterschiedliche Stärkeklassen scheint einleuchtend, selbst wenn damit nur bedingt auf die individuelle Kopfballstärke geschlossen werden kann. Die motorische Kontrolle dürfte denn auch bei einem Kopfstoss über ein anderes Effektorsystem angesteuert werden als ein Kraftstoss mit dem Fuss. Die selbstberichtete Ballerfahrung der Teilnehmer der Laborexperimente stellt eine weit weniger objektive Differenzierung dar. Der Referenzpunkt für diese Angabe könnte je nach Teilnehmer anders ausgefallen sein. Einige schätzten sich aufgrund geringer sportlicher Aktivität vielleicht als ballerfahren ein, während sich andere, objektiv Ballerfahrene, im Vergleich zu einem professionellen Spieler auf bescheidenem Niveau und nur als wenig erfahren einschätzten. Für eine trennschärfere Unterscheidung müsste nach spezifischeren Kriterien (wie z.B. Sportart, Anzahl Trainingsstunden, physikalische Ausbildung usw.) differenziert werden.

Zumindest der Performanzvorteil ballerfahrener gegenüber -unerfahrener Teilnehmer in den Laborversuchen beruhte nicht auf spezifischen Handlungserfahrungen. Dies könnte auf die Effektorunabhängigkeit des Zugriffs auf das perzeptiv-motorische Bewegungsbahnwissen hindeuten. Weitere Studien könnten diese Frage klären. Beispielsweise könnten Objektlenkungen mittels eines mechanischen Hebels oder in einer virtuellen Umgebung weitere Aufschlüsse über die involvierten Effektorsysteme liefern.

Die *Präferenz des rechten Winkels* trat in den vorliegenden Experimenten sehr stark in Erscheinung. Weitere Studien nicht nur zur Wahrnehmung, sondern auch zur (unterschiedlichen) Verarbeitung verschiedener Winkel in Handlungsaufgaben scheinen ein vielversprechendes Forschungsfeld zu sein.

Neuere Forschung hebt die Wichtigkeit motorischer Prozesse für eine ganze Palette kognitiver Funktionen, wie beispielsweise Sprachverständnis oder Objektwahrnehmung hervor (z.B. Paulus, Lindemann, & Bekkering, 2009). Weitere Forschung auf diesem Gebiet mit Bezug zu physikalischen Misskonzepten könnte Hinweise auf Wirkungsweise und -stärke expliziter Informationen bzw. Instruktionen liefern und somit zu deren Überwindung beitragen.

Die Parallelen grundlegender theoretischen Implikationen der intuitiven Physik und des *Choking under pressure* in Bezug auf die Entstehung intuitiver Konzepte (z.B. geringere Leistung trotz grösserer Erfahrung) sind augenfällig. Es bietet sich an, diese beiden Ansätze in zukünftigen Studien zu kombinieren.

6 Literaturverzeichnis

- Anderson, J. R. (1993). *Rules of mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson, N. H., & Wilkening, F. (1991). Adaptive thinking in intuitive physics. In N. H. Anderson (Ed.), *Contributions to information integration theory. Vol. III: Developmental* (pp. 1-42). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Andersson, P., Edman, J., & Ekman, M. (2005). Predicting the World Cup 2002 in soccer: Performance and confidence of experts and non-experts. *International Journal of Forecasting*, 21(3), 565-576.
- Asch, S. E., & Witkin, H. A. (1948). Studies in space orientation 2. Perception of the upright with displaced visual fields and with body tilted. *Journal of Experimental Psychology*, 38(4), 455-477.
- Baenninger, M., & Newcombe, N. (1989). The role of experience in spatial test-performance - a meta-analysis. *Sex Roles*, 20(5-6), 327-344.
- Baenninger, M., & Newcombe, N. (1995). Environmental input to the development of sex-related differences in spatial and mathematical ability. *Learning and Individual Differences*, 7(4), 363-379.
- Baillargeon, R. (1987). Object permanence in 3 1/2- and 4 1/2-month-old infants. *Developmental Psychology*, 23(5), 655-664.
- Baillargeon, R. (1993). The object concept revisited: New direction in the investigation of infants' physical knowledge. In C. Granrud (Ed.), *Visual perception and cognition in infancy* (pp. 265-315). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617-645.
- Baumeister, R. F. (1984). Choking under pressure: Self-Consciousness and paradoxical effects of incentives on skillful performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 46(3), 610-620.
- Beilock, S. L., Bertenthal, B. I., McCoy, A. M., & Carr, T. H. (2004). Haste does not always make waste: Expertise, direction of attention, and speed versus accuracy in performing sensorimotor skills. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(2), 373-379.

- Beilock, S. L., & Carr, T. H. (2001). On the fragility of skilled performance: What governs choking under pressure? *Journal of Experimental Psychology-General*, 130(4), 701-725.
- Beilock, S. L., & Carr, T. H. (2005). When high-powered people fail: Working memory and choking under pressure in math. *Psychological Science*, 16(2), 101-105.
- Beilock, S. L., Carr, T. H., MacMahon, C., & Starkes, J. L. (2002). When paying attention becomes counterproductive: Impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(1), 6-16.
- Beilock, S. L., & DeCaro, M. S. (2007). From poor performance to success under stress: Working memory, strategy selection, and mathematical problem solving under pressure. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 33(6), 983-998.
- Beilock, S. L., Kulp, C. A., Holt, L. E., & Carr, T. H. (2004). More on the fragility of performance: Choking under pressure in mathematical problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(4), 584-600.
- Bennis, W. M., & Pachur, T. (2006). Fast and frugal heuristics in sports. *Psychology of Sport and Exercise*, 7(6), 611-629.
- Berry, D. C., & Broadbent, D. E. (1984). On the relationship between task-performance and associated verbalizable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36(2), 209-231.
- Berry, D. C., & Broadbent, D. E. (1987). The combination of explicit and implicit learning processes in task control. *Psychological Research*, 49(1), 7-15.
- Berry, D. C., & Broadbent, D. E. (1988). Interactive tasks and the implicit explicit distinction. *British Journal of Psychology*, 79, 251-272.
- Bertamini, M., & Casati, R. (2009). False beliefs and naive beliefs: They can be good for you. *Behavioral and Brain Sciences*, 32(6), 512-513.
- Bird, G., Osman, M., Saggerson, A., & Heyes, C. (2005). Sequence learning by action, observation and action observation. *British Journal of Psychology*, 96, 371-388.

- Brass, M., Bekkering, H., Wohlschläger, A., & Prinz, W. (2000). Compatibility between observed and executed finger movements: Comparing symbolic, spatial, and imitative cues. *Brain and Cognition*, 44(2), 124-143.
- Canessa, N., Borgo, F., Cappa, S. F., Perani, D., Falini, A., Buccino, G., et al. (2008). The different neural correlates of action and functional knowledge in semantic memory: An fMRI study. *Cerebral Cortex*, 18(4), 740-751.
- Carpenter, R. H. S., & Blakemore, C. (1973). Interactions between orientations in human vision. *Experimental Brain Research*, 18(3), 287-303.
- Castaneda, B., & Gray, R. (2007). Effects of focus of attention on baseball batting performance in players of differing skill levels. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 29(1), 60-77.
- Catrambone, R., Jones, C. M., Jonides, J., & Seifert, C. (1995). Reasoning about curvilinear motion - using principles or analogy. *Memory & Cognition*, 23(3), 368-373.
- Chao, L. L., & Martin, A. (2000). Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *Neuroimage*, 12(4), 478-484.
- Chapman, S. (1968). Catching a baseball. *American Journal of Physics*, 36(10), 868-870.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71.
- Conlisk, J. (1996). Why bounded rationality? *Journal of Economic Literature*, 34(2), 669-700.
- Cooke, N. J., & Breedin, S. D. (1994). Constructing naive theories of motion on the fly. *Memory & Cognition*, 22(4), 474-493.
- Courtney, J. R., & Hubbard, T. L. (2008). Spatial memory and explicit knowledge: An effect of instruction on representational momentum. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(12), 1778-1784.
- Creem, S. H., & Proffitt, D. R. (2001). Grasping objects by their handles: A necessary interaction between cognition and action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(1), 218-228.

- Daum, M. M., & Krist, H. (2009). Dynamic action in virtual environments: Constraints on the accessibility of action knowledge in children and adults. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(2), 335-351.
- Daum, M. M., Rauch, J., & Wilkening, F. (2008). Intuitive Physics: Naive concepts about the ball's momentum among professional football players. In P. Andersson, P. Ayton & C. Schmidt (Eds.), *Myths and facts about football: The economics and psychology of the world's greatest sport* (pp. 39-60). Newcastle upon Tyne, UK: Cambridge Scholar Press.
- DeMiguel, V., Garlappi, L., & Uppal, R. (2009). Optimal versus naive diversification: How inefficient is the 1/N portfolio strategy? *Review of Financial Studies*, 22(5), 1915-1953.
- Dieckmann, A., & Rieskamp, J. (2007). The influence of information redundancy on probabilistic inferences. *Memory & Cognition*, 35(7), 1801-1813.
- DiSessa, A. A. (1982). Unlearning aristotelian physics: A study of knowledge-based learning. *Cognitive Science*, 6(1), 37-75.
- DiSessa, A. A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 5-33). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- DiSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman & P. Pufall (Eds.), *Constructivism in the computer age* (pp. 49-70). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Elsner, B., & Pauen, S. (2007). Social learning of artefact function in 12- and 15-month-olds. *European Journal of Developmental Psychology*, 4(1), 80-99.
- Finke, R. A., & Freyd, J. J. (1989). Mental extrapolation and cognitive penetrability: Reply to Ranney and proposals for evaluative criteria. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118(4), 403-408.
- Fischer, M. H., & Zwaan, R. A. (2008). Embodied language: A review of the role of the motor system in language comprehension. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(6), 825-850.
- Fisher, G. H. (1969). An experimental study of angular subtension. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 21(4), 356-366.

- Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1967). *Human Performance*. Belmont, CA: Brooks/Cole.
- Forrest, D., & Simmons, R. (2000). Forecasting sport: the behaviour and performance of football tipsters. *International Journal of Forecasting*, 16(3), 317-331.
- Freyd, J. J., & Jones, K. T. (1994). Representational momentum for a spiral path. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(4), 968-976.
- Frick, A., Huber, S., Reips, U.-D., & Krist, H. (2005). Task-specific knowledge of the law of pendulum motion in children and adults. *Swiss Journal of Psychology*, 64(2), 103-114.
- Gallwey, W. T. (1982). *The inner game of tennis*. New York: Bantam Books.
- Gibson, J. J. (1937). Adaptation, after-effect, and contrast in the perception of tilted lines. II. Simultaneous contrast and the areal restriction of the after-effect. *Journal of Experimental Psychology*, 20(6), 553-569.
- Gigerenzer, G., & Goldstein, D. G. (1996). Reasoning the fast and frugal way: Models of bounded rationality. *Psychological Review*, 109(1), 75-90, 103, 650-670.
- Gigerenzer, G., & Todd, P. M., and the ABC Research Group. (1999). *Simple heuristics that make us smart*. New York: Oxford University Press.
- Goldmeier, E. (1972). Similarity in visually perceived forms. *Psychological Issues*, 8(1), 1-135.
- Goldstein, D. G., & Gigerenzer, G. (2002). Models of ecological rationality: The recognition heuristic. *Psychological Review*, 109(1), 75-90.
- Goldstein, D. G., & Gigerenzer, G. (2009). Fast and frugal forecasting. *International Journal of Forecasting*, 25(4), 760-772.
- Gray, R. (2004). Attending to the execution of a complex sensorimotor skill: Expertise differences, choking, and slumps. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 10(1), 42-54.

- Greene, E. (1994). Collinearity judgment as a function of induction angle. *Perceptual and Motor Skills*, 78(2), 655-674.
- Gucciardi, D. F., & Dimmock, J. A. (2008). Choking under pressure in sensorimotor skills: Conscious processing or depleted attentional resources? *Psychology of Sport and Exercise*, 9(1), 45-59.
- Hecht, H. (2001). Regularities of the physical world and the absence of their internalization. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(4), 608-617.
- Hecht, H., & Bertamini, M. (2000). Understanding projectile acceleration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(2), 730-746.
- Hecht, H., & Proffitt, D. R. (1995). The price of expertise - effects of experience on the water-level task. *Psychological Science*, 6(2), 90-95.
- Hespos, S. J., & Baillargeon, R. (2001). Reasoning about containment events in very young infants. *Cognition*, 78(3), 207-245.
- Hood, B. M. (1995). Gravity rules for 2- to 4-years-olds? *Cognitive Development*, 10, 577-598.
- Hood, B. M. (1998). Gravity does rule for falling events. *Developmental Science*, 1(1), 59-63.
- Howard, I. P. (1978). Recognition and knowledge of water-level principle. *Perception*, 7(2), 151-160.
- Howe, C. Q., & Purves, D. (2004). Size contrast and assimilation explained by the statistics of natural scene geometry. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(1), 90-102.
- Hubbard, T. L. (2006). Bridging the gap: Possible roles and contributions of representational momentum. *Psicologica*, 27(1), 1-34.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1959). Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex. *Journal of Physiology*, 148(3), 574-591.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in cat's visual cortex. *Journal of Physiology*, 160(1), 106-154.

- Huber, S., Krist, H., & Wilkening, F. (2003). Judgment and action knowledge in speed adjustment tasks: Experiments in a virtual environment. *Developmental Science*, 6(2), 197-210.
- Hult, R. E., & Brous, C. W. (1986). Spatial visualization - athletic skills and sex-differences. *Perceptual and Motor Skills*, 63(1), 163-168.
- Kaiser, M. K., Jonides, J., & Alexander, J. (1986). Intuitive reasoning about abstract and familiar physics problems. *Memory & Cognition*, 14(4), 308-312.
- Kaiser, M. K., Proffitt, D. R., & Anderson, K. (1985). Judgments of natural and anomalous trajectories in the presence and absence of motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11(4), 795-803.
- Kaiser, M. K., Proffitt, D. R., & McCloskey, M. (1985). The development of beliefs about falling objects. *Perception & Psychophysics*, 38(6), 533-539.
- Kaiser, M. K., Proffitt, D. R., Whelan, S. M., & Hecht, H. (1992). Influence of animation on dynamical judgments. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(3), 669-689.
- Kalichman, S. C. (1988). Individual differences in water-level task performance - a component-skills analysis. *Developmental Review*, 8(3), 273-295.
- Keele, S. W., & Summers, J. J. (1976). The structure of motor programs. In G. E. Stelmach (Ed.), *Motor control: Issues and trends* (pp. 109-142). New York: Academic Press.
- Kiefer, M., Sim, E. J., Liebich, S., Hauk, O., & Tanaka, J. (2007). Experience-dependent plasticity of conceptual representations in human sensory-motor areas. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(3), 525-542.
- Kim, I. K., & Spelke, E. S. (1992). Infants sensitivity to effects of gravity on visible object motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(2), 385-393.
- Kim, I. K., & Spelke, E. S. (1999). Perception and understanding of effects of gravity and inertia on object motion. *Developmental Science*, 2(3), 339-362.

- Kimble, G. A., & Perlmutter, L. C. (1970). Problem of volition. *Psychological Review*, 77(5), 361-384.
- Klatzky, R. L. (1984). *Memory and awareness: An information processing perspective*. New York: Freeman.
- Kocher, M. G., Lenz, M. V., & Sutter, M. (2008). Performance under pressure: The case of penalty shootouts in Football. In P. Andersson, P. Ayton & C. Schmidt (Eds.), *Myths and facts about football: The economics and psychology of the world's greatest sport*. Newcastle upon Tyne, UK: Cambridge Scholar Press.
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). Impetus beliefs as default heuristics: Dissociation between explicit and implicit knowledge about motion. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(3), 439-453.
- Krist, H. (2000). Development of naive beliefs about moving objects: The straight-down belief in action. *Cognitive Development*, 15(3), 281-308.
- Krist, H., Fieberg, E. L., & Wilkening, F. (1993). Intuitive physics in action and judgment: The development of knowledge about projectile motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(4), 952-966.
- Krist, H., Loskill, J., & Schwarz, S. (1996). Intuitive Physik in der Handlung: Perzeptiv-motorisches Wissen über Flugbahnen bei 5-7jährigen Kindern. *Zeitschrift für Psychologie*, 204(4), 339-366.
- Liben, L. S. (1991). Adults performance on horizontality tasks - conflicting frames of reference. *Developmental Psychology*, 27(2), 285-294.
- Lindemann, O., Stenneken, P., van Schie, H. T., & Bekkering, H. (2006). Semantic activation in action planning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(3), 633-643.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and Characterization of Sex-Differences in Spatial Ability - a Meta-Analysis. *Child Development*, 56(6), 1479-1498.
- Maniatis, L. M. (2010). Shape, gravity, and the perception of the right angle. *Perception*, 39(5), 636-640.

- Massey, C. M., & Gelman, R. (1988). Preschooler's ability to decide whether a photographed unfamiliar object can move itself. *Developmental Psychology*, 24(3), 307-317.
- Masters, R. S. W. (1992). Knowledge, knerves, and know-how: The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. *British Journal of Psychology*, 83(3), 343-358.
- McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 248(4), 122-130.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. *Science*, 210(4474), 1139-1141.
- McCloskey, M., & Kohl, D. (1983). Naive physics: The curvilinear impetus principle and its role in interactions with moving objects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9(1), 146-156.
- McKenzie, C. R. M. (1994). The accuracy of intuitive judgment strategies - covariation assessment and Bayesian inference. *Cognitive Psychology*, 26(3), 209-239.
- McLeod, P., & Dienes, Z. (1996). Do fielders know where to go to catch the ball or only how to get there? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(3), 531-543.
- McNevin, N. H., Shea, C. H., & Wulf, G. (2003). Increasing the distance of an external focus of attention enhances learning. *Psychological Research*, 67(1), 22-29.
- Michaels, C. F., & Oudejans, R. R. (1992). The optics and actions of catching fly balls: Zeroing out optical acceleration. *Ecological Psychology*, 4(4), 199-222.
- Mohr, S. (2001). *Entwicklung intuitiven Wissens über Bewegungsgesetze: Experimente zur sensumotorischen und kognitiven Impulsintegration*. Aachen, Germany: Shaker.

- Myer, K. A., & Hensley, J. H. (1984). Cognitive style, gender, and self-report of principle as predictors of adult performance on Piaget's water level task. *Journal of Genetic Psychology, 144*(2), 179-183.
- Newcombe, N., Bandura, M. M., & Taylor, D. G. (1983). Sex-differences in spatial ability and spatial activities. *Sex Roles, 9*(3), 377-386.
- Newton, I. (2001). Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. *Filozofia, 56*(5), 341-354.
- Nonaka, I., & von Krogh, G. (2009). Tacit knowledge and knowledge conversion: controversy and advancement in organizational knowledge creation theory. *Organization Science, 20*(3), 635-652.
- Nundy, S., Lotto, B., Coppola, D., Shimpi, A., & Purves, D. (2000). Why are angles misperceived? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 97*(10), 5592-5597.
- Paulus, M., Lindemann, O., & Bekkering, H. (2009). Motor simulation in verbal knowledge acquisition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 62*(12), 2298-2305.
- Piaget, J. (1937). *La construction du réel chez l'enfant*. Neuchatel: Delachaux & Niestlé.
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. New York: International Universities Press.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1956). *The child's conception of space*. London: Routledge.
- Porro, C. A., Facchin, P., Fusi, S., Dri, G., & Fadiga, L. (2007). Enhancement of force after action observation - Behavioural and neurophysiological studies. *Neuropsychologia, 45*(13), 3114-3121.
- Proffitt, D. R., & Gilden, D. L. (1989). Understanding natural dynamics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 15*(2), 384-393.

- Raab, M. (2003). Implicit and explicit learning of decision making in sports is effected by complexity of situation. *International Journal of Sport Psychology*, 34(4), 273-288.
- Ranney, M. (1994). Relative consistency and subjects theories in domains such as naive physics - common research difficulties illustrated by Cooke and Breedin. *Memory & Cognition*, 22(4), 494-502.
- Reber, A. S., & Allen, R. (1978). Analogic and abstraction strategies in synthetic grammar learning - functionalist interpretation. *Cognition*, 6(3), 189-221.
- Reed, C. L., & Vinson, N. G. (1996). Conceptual effects on representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(4), 839-850.
- Reeves, J. L., & Tenenbaum, G. (2005). Choking under pressure: The effects of self-consciousness training. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 27, S125-S126.
- Riener, C., Proffitt, D. R., & Salthouse, T. (2005). A psychometric approach to intuitive physics. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(4), 740-745.
- Robert, M., & Tanguay, M. (1990). Perception and representation of the Euclidean coordinates in mature and elderly men and women. *Experimental Aging Research*, 16(3), 123-131.
- Robinson, J. O. (1998). *The psychology of visual illusion*. Minnesota, NY: Dover Publications.
- Salthouse, T. A. (2004). What and when of cognitive aging. *Current Directions in Psychological Science*, 13(4), 140-144.
- Schneider, W., & Fisk, A. D. (1983). Attention theory and mechanisms for skilled performance. In R. A. Magill (Ed.), *Memory and control of action* (pp. 119-143). Amsterdam: North-Holland.
- Schwartz, D. L., & Black, T. (1999). Inferences through imagined actions: Knowing by simulated doing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(1), 116-136.

- Serwe, S., & Frings, C. (2006). Who will win Wimbledon? The recognition heuristic in predicting sports events. *Journal of Behavioral Decision Making*, 19(4), 321-332.
- Shaffer, D. M., & McBeath, M. K. (2005). Naive beliefs in baseball: Systematic distortion in perceived time of apex for fly balls. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 31(6), 1492-1501.
- Shepard, R. N. (2001). Perceptual-cognitive universals as reflections of the world. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(4), 581- 601.
- Simon, H. A. (1959). Theories of decision-making in economics and behavioral science. *American Economic Review*, 49(3), 253-283.
- Spelke, E. S. (1991). Physical knowledge in infancy: Reflections on Piaget's theory. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (pp. 133-169). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spelke, E. S. (1994). Initial knowledge: Six suggestions. *Cognition*, 50(1-3), 431-445.
- Spelke, E. S., Breinlinger, K., Macomber, J., & Jacobson, K. (1992). Origins of knowledge. *Psychological Review*, 99(4), 605-632.
- Spelke, E. S., Katz, G., Purcell, S. E., Ehrlich, S. M., & Breinlinger, K. (1994). Early knowledge of object motion: Continuity and inertia. *Cognition*, 51(2), 131-176.
- Spelke, E. S., Phillips, A. T., & Woodward, A. L. (1995). Infants' knowledge of object motion and human action. In D. Sperber, D. Premack & A. J. Premack (Eds.), *Causal cognition: a multidisciplinary debate* (pp. 44-78). Oxford, UK: Clarendon Press.
- Spencer, J. R., Smith, L. B., & Thelen, E. (2001). Tests of a dynamic systems account of the A-not-B error: The influence of prior experience on the spatial memory abilities of two-year-olds. *Child Development*, 72(5), 1327-1346.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1986). Rational choice and the framing of decisions. *Journal of Business*, 59(4), 251-278.

- Voyer, D., Nolan, C., & Voyer, S. (2000). The relation between experience and spatial performance in men and women. *Sex Roles*, 43(11-12), 891-915.
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex-differences in spatial abilities - a metaanalysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117(2), 250-270.
- White, B. Y. (1984). Designing computer games to help physics students understand Newton's laws of motion. *Cognition and Instruction*, 1(1), 69-108.
- Wilcox, T., Nadel, L., & Rosser, R. (1996). Location memory in healthy preterm and fullterm infants. *Infant Behavior and Development*, 19 (3), 309-323.
- Wilkening, F., & Lamsfuss, S. (1993). (Miss-)Konzepte der naiven Physik im Entwicklungsverlauf. In W. Hell, K. Fiedler & G. Gigerenzer (Eds.), *Kognitive Täuschungen: Fehl-Leistungen und Mechanismen des Urteilens, Denkens und Erinnerns* (pp. 271-290). Heidelberg: Spektrum.
- Wilkening, F., & Martin, C. (2004). How to speed up to be in time: Action-judgment dissociations in children and adults. *Swiss Journal of Psychology*, 63(1), 17-29.
- Wulf, G., & Prinz, W. (2001). Directing attention to movement effects enhances learning: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(4), 648-660.
- Wulf, G., Shea, C., & Lewthwaite, R. (2010). Motor skill learning and performance: A review of influential factors. *Medical Education*, 44(1), 75-84.
- Wundt, W. (1862). *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung*. Leipzig: Winter.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein grösster Dank gilt meinem Doktorvater Herr Prof. Dr. Friedrich Wilkening für die wissenschaftliche Unterstützung sowie dafür, dass er mir die Möglichkeit gab, diese Arbeit bei ihm zu schreiben.

Ein grosses Dankeschön gilt den Fussballvereinen, welche sich bereit erklärten, an dieser Studie teilzunehmen. Dies sind insbesondere der FC Zürich, FC Blue Stars Zürich, FC Oerlikon/Polizei, FC Mönchaltorf sowie der FC Egg.

Bedanken möchte ich mich ganz herzlich bei den ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unserer Fachrichtung Allgemeine und Entwicklungspsychologie für den wissenschaftlichen Austausch und die fruchtbaren Diskussionen sowie Manuela Marx für ihre grosse Geduld.

Ich danke Patricia Schär und Simone Schaub, die mir bei vielen Arten von auftauchenden Schwierigkeiten eine grosse Hilfe waren sowie für die wertvollen Diskussionen und die gegenseitige Unterstützung, die ich in vielerlei Hinsicht als grosse Bereicherung empfand. Simone stand mir zusätzlich insbesondere bei der Datenauswertung und -darstellung mit ihrer grossen Fachkompetenz beratend zur Seite.

Danken möchte ich meinem Bürokollegen Marc Schwind für die unterhaltsamen Jahre, welche die Erstellung der Dissertation in mancher Situation erleichterte.

Moritz M. Daum danke ich für die Unterstützung bei Vorbereitungen für Kongresse und Tagungen.

Für das Korrekturlesen der Arbeit danke ich Cindy Hertach und Beat Rauch.

Ein besonders grosser Dank gebührt Cindy Hertach, die mich über die Jahre des Doktoratsstudiums geduldig begleitete und mir in dieser Zeit eine riesige Unterstützung war.

Curriculum Vitae

Name: Jan Rauch

Geburtsdatum: 26. Juli 1975

Heimatort: Bergün, GR

Ausbildung

- | | |
|-----------|--|
| 1999-2006 | Doktoratsstudium, Universität Zürich, Psychologisches Institut,
Allgemeine und Entwicklungspsychologie |
| 1999-2006 | Lizentiatsstudium, Universität Zürich, Psychologisches Institut,
Allgemeine und Entwicklungspsychologie |
| | 1. Nebenfach: Soziologie |
| | 2. Nebenfach: Kriminologie |

Berufliche Tätigkeiten

- | | |
|-----------|--|
| 2007-2011 | Universität Zürich, Psychologisches Institut, Allgemeine und
Entwicklungspsychologie: Assistent |
| 2006-2007 | Universität Zürich, Psychologisches Institut, Allgemeine und
Entwicklungspsychologie: Studentischer Mitarbeiter |